

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-029746

(43)Date of publication of application : 29.01.2004

(51)Int.Cl.

G03F 1/08
H01L 21/027

(21)Application number : 2003-111318

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO
LTD

(22)Date of filing : 16.04.2003

(72)Inventor : MITSUSAKA AKIO

(30)Priority

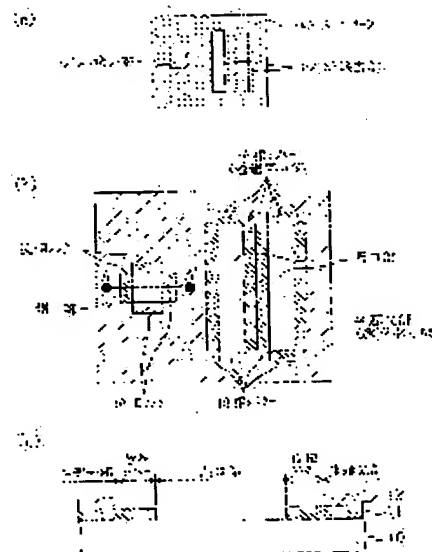
Priority number : 2002128029 Priority date : 30.04.2002 Priority country : JP

(54) PHOTOMASK, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND PATTERN FORMING
METHOD USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To simultaneously make an isolated space pattern or an isolated line pattern and close patterns, minute.

SOLUTION: A light half-shielding part having a light shielding property for exposure light, an aperture part (light-transmissive part) which is surrounded with the light half-shielding part and has a light transmitting property for exposure light, and a phase shifter (peripheral part) placed around the aperture part are provided on a transmissive substrate 10. A surface of the transmissive substrate 10 in an aperture part formation area is exposed. A lower-layer phase shift film 11 is formed on the transmissive substrate 10 in a phase shifter formation area. The lower-layer phase shift film 11 and an upper-layer phase shift film 12 are laminated on the transmissive substrate 10 in a light half-shielding part formation area. The lower-layer phase shift film 11 and the upper-layer phase shift film 12 transmit exposure light with opposite phases with the aperture part as a reference.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

/

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-29746

(P2004-29746A)

(43) 公開日 平成16年1月29日(2004.1.29)

(51) Int. Cl.⁷G03F 1/08
H01L 21/027

F 1

G03F 1/08 D
G03F 1/08 A
H01L 21/30 502P

テーマコード(参考)

2H095

審査請求 有 請求項の数 23 O L (全 51 頁)

(21) 出願番号 特願2003-111318 (P2003-111318)
 (22) 出願日 平成15年4月16日(2003.4.16)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-128029 (P2002-128029)
 (32) 優先日 平成14年4月30日(2002.4.30)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000005821
 松下電器産業株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地
 (74) 代理人 100077931
 弁理士 前田 弘
 (74) 代理人 100094134
 弁理士 小山 廣毅
 (74) 代理人 100110939
 弁理士 竹内 宏
 (74) 代理人 100110940
 弁理士 嶋田 高久
 (74) 代理人 100113262
 弁理士 竹内 祐二
 (74) 代理人 100115059
 弁理士 今江 克実

最終頁に続く

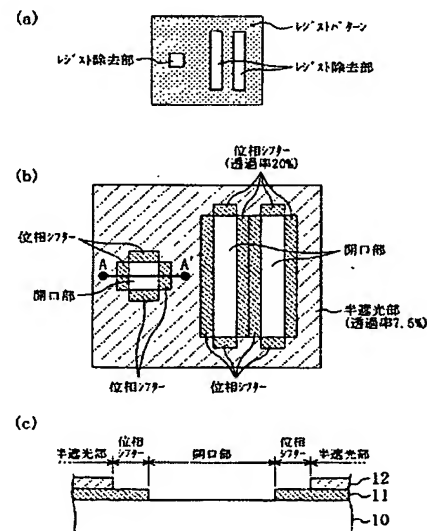
(54) 【発明の名称】 フォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法

(57) 【要約】

【課題】 孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化できるようにする。

【解決手段】 露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する開口部(透光部)と、開口部の周辺に位置する位相シフター(周辺部)とが透過性基板10上に設けられている。開口部形成領域の透過性基板10の表面は露出している。位相シフター形成領域の透過性基板10上に下層位相シフト膜11が形成されている。半遮光部形成領域の透過性基板10上に下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12とが積層されている。下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12はそれぞれ、開口部を基準として露光光を反対位相で透過させる。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備え、
前記半遮光部及び前記透光部は前記露光光を互いに同位相で透過させ、
前記周辺部は、前記半遮光部及び前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させ、
前記透光部形成領域の前記透過性基板の表面は露出しており、
前記周辺部形成領域の前記透過性基板上に、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 1 の位相シフト膜が形成されており、
前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に、前記第 1 の位相シフト膜と、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 2 の位相シフト膜とが順次積層されており、
前記第 1 の位相シフト膜及び第 2 の位相シフト膜の積層構造は、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させることを特徴とするフォトマスク。

10

【請求項 2】

前記第 1 の位相シフト膜は、第 1 の透過率調整膜と、前記第 1 の透過率調整膜上に形成された第 1 の位相調整膜とを有し、
前記第 1 の透過率調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させると共に前記露光光に対して相対的に低い透過率を有し、
前記第 1 の位相調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させると共に前記露光光に対して相対的に高い透過率を有することを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスク。

20

【請求項 3】

前記第 2 の位相シフト膜は、第 2 の透過率調整膜と、前記第 2 の透過率調整膜上に形成された第 2 の位相調整膜とを有し、
前記第 2 の透過率調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させると共に前記露光光に対して相対的に低い透過率を有し、
前記第 2 の位相調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させると共に前記露光光に対して相対的に高い透過率を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のフォトマスク。

30

【請求項 4】

前記周辺部は前記透光部と接するように配置されていることを特徴する請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 5】

前記周辺部は、前記透光部から所定の寸法だけ離して配置されていることを特徴する請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

40

【請求項 6】

前記第 1 の位相シフト膜は、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 1 の位相調整膜を有し、
前記第 2 の位相シフト膜は、前記第 1 の位相調整膜の上に形成され且つ前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 2 の位相調整膜を有し、
前記第 1 の位相調整膜と前記第 2 の位相調整膜との間に、前記露光光に対する透過率が前記各位相調整膜よりも低い透過率調整膜が形成されていることを特徴する請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 7】

前記露光光に対する前記半遮光部の透過率は 6 % 以上で且つ 15 % 以下であることを特徴

50

とする請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 8】

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備え、
前記半遮光部及び前記透光部は前記露光光を互いに同位相で透過させ、
前記周辺部は、前記半遮光部及び前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させ、
前記透光部形成領域の前記透過性基板の表面は露出しており、
前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させる半遮光膜が形成されており、
前記周辺部形成領域の前記透過性基板上に、前記半遮光膜が、前記透光部を基準として前記露光光が反対位相で透過する厚さを持つように薄膜化された状態で形成されていることを特徴とするフォトマスク。

10

【請求項 9】

前記半遮光膜は、前記透過性基板上に形成された透過率調整膜と、前記透過率調整膜上に形成された位相調整膜とを有し、
前記透過率調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させると共に前記露光光に対して相対的に低い透過率を有し、
前記位相調整膜は前記露光光に対して相対的に高い透過率を有し、
前記半遮光部形成領域の前記位相調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させる厚さを有し、
前記周辺部形成領域の前記位相調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる厚さを有することを特徴とする請求項 8 に記載のフォトマスク。

20

【請求項 10】

前記半遮光膜は、前記透過性基板上に形成された位相調整膜と、前記半遮光部形成領域の前記位相調整膜の上のみに形成された透過率調整膜とを有し、
前記透過率調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させると共に前記露光光に対して相対的に低い透過率を有し、
前記位相調整膜は前記露光光に対して相対的に高い透過率を有し、
前記半遮光部形成領域の前記位相調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させる厚さを有し、
前記周辺部形成領域の前記位相調整膜は、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる厚さを有することを特徴とする請求項 8 に記載のフォトマスク。

30

【請求項 11】

前記周辺部は前記透光部と接するように配置されていることを特徴する請求項 8～10 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 12】

前記周辺部は、前記透光部から所定の寸法だけ離して配置されていることを特徴する請求項 8～10 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

40

【請求項 13】

前記露光光に対する前記半遮光部の透過率は 6 % 以上で且つ 15 % 以下であることを特徴とする請求項 8～12 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 14】

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備え、

50

前記半遮光部及び前記透光部は前記露光光を互いに同位相で透過させ、
前記周辺部は、前記半遮光部及び前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させ、
前記透光部形成領域の前記透過性基板の表面は露出しており、
前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させる半遮光膜が形成されており、
前記周辺部形成領域の前記透過性基板は、前記透光部を基準として前記露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げられていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 15】

前記半遮光膜は、前記透過性基板上に形成された透過率調整膜と、前記透過率調整膜上に形成された位相調整膜とを有し、
前記透過率調整膜は前記露光光に対して相対的に低い透過率を有し、
前記位相調整膜は前記露光光に対して相対的に高い透過率を有することを特徴とする請求項 14 に記載のフォトマスク。

【請求項 16】

前記周辺部は前記透光部と接するように配置されていることを特徴する請求項 14 又は 15 に記載のフォトマスク。

【請求項 17】

前記周辺部は、前記透光部から所定の寸法だけ離して配置されていることを特徴する請求項 14 又は 15 に記載のフォトマスク。

【請求項 18】

前記露光光に対する前記半遮光部の透過率は 6 % 以上で且つ 15 % 以下であることを特徴とする請求項 14 ~ 17 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 19】

請求項 1 ~ 18 のいずれか 1 項に記載のフォトマスクを用いたパターン形成方法であって、
基板上にレジスト膜を形成する工程と、
前記レジスト膜に前記フォトマスクを介して前記露光光を照射する工程と、
前記露光光を照射された前記レジスト膜を現像して、前記レジスト膜をパターン化する工程とを備えていることを特徴とするパターン形成方法。

【請求項 20】

前記露光光を照射する工程において斜入射照明法を用いることを特徴とする請求項 19 に記載のパターン形成方法。

【請求項 21】

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトマスクの作成方法であって、
前記透過性基板上に、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 1 の位相シフト膜を形成する第 1 の工程と、
前記第 1 の位相シフト膜上に、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 2 の位相シフト膜を形成する第 2 の工程と、
前記透光部形成領域及び前記周辺部形成領域の前記第 2 の位相シフト膜を除去する第 3 の工程と、
前記第 3 の工程よりも後に、前記透光部形成領域の前記第 1 の位相シフト膜を除去する第 4 の工程とを備え、
前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に形成された前記第 1 の位相シフト膜及び前記第 2 の位相シフト膜の積層構造は、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有すると共に前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させることを特徴とするフォトマスクの作成方法。

10

20

30

40

50

【請求項 2 2】

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトリソグラフィの作成方法であって、前記透過性基板上に、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 1 の位相シフト膜を形成する第 1 の工程と、前記第 1 の位相シフト膜上に、前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる第 2 の位相シフト膜を形成する第 2 の工程と、前記周辺部形成領域の前記第 2 の位相シフト膜を除去する第 3 の工程と、前記第 3 の工程よりも後に、前記透光部形成領域の前記第 2 の位相シフト膜及び前記第 1 の位相シフト膜を順次除去する第 4 の工程とを備え、前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に形成された前記第 1 の位相シフト膜及び前記第 2 の位相シフト膜の積層構造は、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有すると共に前記透光部を基準として前記露光光を同位相で透過させることを特徴とするフォトリソグラフィの作成方法。

【請求項 2 3】

前記露光光に対する前記半遮光部の透過率は 6 % 以上で且つ 15 % 以下であることを特徴とする請求項 2 1 又は 2 2 に記載のフォトリソグラフィの作成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体集積回路装置の製造に用いられる微細パターン形成用のフォトリソグラフィ、その作成方法及びそのフォトリソグラフィを用いたパターン形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体を用いて実現する大規模集積回路装置（以下、LSI と称する）の高集積化のために回路パターンの微細化がますます必要となってきた。その結果、回路を構成する配線パターンの細線化、又は絶縁層を介して多層化された配線同士をつなぐコンタクトホールパターン（以下、コンタクトパターンと称する）の微細化が非常に重要となってきた。

【0003】

以下、近年の光露光システムによる配線パターンの細線化について、ポジ型レジストプロセスを用いて行なう場合を想定して説明する。ポジ型レジストプロセスにおいて、ラインパターンとは、フォトリソグラフィを用いた露光及びその後の現像によって、レジストの非感光領域と対応して残存するライン状のレジスト膜（レジストパターン）である。また、スペースパターンとは、レジストの感光領域と対応するレジスト除去部（レジスト除去パターン）である。また、コンタクトパターンとは、ホール状のレジスト除去部であり、スペースパターンのうち特に微小なものと考えればよい。尚、ポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いる場合、前述のラインパターン及びスペースパターンのそれぞれの定義を入れ替えればよい。

【0004】

一般に、配線パターンの微細化には、超解像露光と呼ばれる斜入射露光を用いた細線パターン形成方法が導入されてきた。この方法は、レジストの非感光領域と対応するレジストパターンの微細化方法として優れていると共に、周期的に配置された密パターンの焦点深度を向上させる効果も有している。但し、この斜入射露光方法は、孤立したレジスト除去部を微細化する方法としてはほとんど効果がなく、逆に、像（光学像）のコントラストや焦点深度を劣化させるものである。このため、斜入射露光方法は、レジスト除去部の寸法がレジストパターンの寸法よりも大きいという特徴を有するパターン形成、例えばゲートパターン形成等に積極的に用いられてきている。

【0005】

一方、微小コンタクトパターンのような孤立した微細なレジスト除去部を形成するためには、斜入射部分を含まない低干渉度の小さな光源を用いることが効果的であることがわかっている。このとき、ハーフトーン位相シフトマスクを用いると、より効果的である（例えば特許文献1参照）。ハーフトーン位相シフトマスクにおいては、コンタクトパターンと対応する透光部（開口部）を囲むマスクパターンとして、完全遮光部に代えて、露光光に対して3～6%程度の非常に低い透過率を有し且つ開口部を透過する光に対して180度の位相反転を生じる位相シフターが設けられている。

【0006】

尚、本明細書において、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透過率で表す。また、完全遮光膜（完全遮光部）とは、実効透過率が1%よりも小さい遮光膜（遮光部）を意味するものとする。

【0007】

以下、ハーフトーン位相シフトマスクによるパターン形成方法の原理について図27（a）～（g）を参照しながら説明する。

【0008】

図27（a）は、マスク表面に設けられた完全遮光部となるクロム膜にコンタクトパターンと対応する開口部が設けられてなるフォトマスクの平面図であり、図27（b）は、図27（a）に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示している。図27（c）は、マスク表面に設けられた位相シフターにコンタクトパターンと対応するクロム膜が完全遮光部として設けられてなるフォトマスクの平面図であり、図27（d）は、図27（c）に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示している。図27（e）は、マスク表面に設けられた位相シフターにコンタクトパターンと対応する開口部が設けられてなるフォトマスク（つまりハーフトーン位相シフトマスク）の平面図であり、図27（f）及び（g）はそれぞれ、図27（e）に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度及び光強度を示している。

【0009】

ここで、図27（b）、（d）、（f）に示すように、図27（e）に示すハーフトーン位相シフトマスクを透過した光の振幅強度は、図27（a）及び（c）のそれぞれに示すフォトマスクを透過した光の振幅強度の和になっている。すなわち、図27（e）に示すハーフトーン位相シフトマスクにおいては、遮光部となる位相シフターは、低い透過率で光を透過させるだけではなく、該位相シフターを透過する光に、開口部を通過する光に対して180度の光路差（位相差）を与えるように形成されている。このため、図27（b）、（d）に示すように、位相シフターを透過する光は、開口部を透過する光に対して反対位相の振幅強度分布を有するので、図27（b）に示す振幅強度分布と図27（d）に示す振幅強度分布とを合成すると、図27（f）に示すように、位相変化により振幅強度が0となる位相境界が発生する。その結果、図27（g）に示すように、位相境界となる開口部の端（以下、位相端と称する）では、振幅強度の2乗で表される光強度も0となって強い暗部が形成される。従って、図27（e）に示すハーフトーン位相シフトマスクを透過した光の像においては、開口部周辺で非常に強いコントラストが実現される。但し、このコントラストの向上は、マスクに対して垂直に入射する光、具体的には低干渉度の小さな光源領域からマスクに入射する光に対して生じる一方、斜入射露光、例えば垂直入射成分（光源中心（マスクの法線方向）からの照明成分）を取り除いた輪帯照明と呼ばれるような露光に対しては、開口部周辺（位相変化が発生する位相境界付近）でもコントラストの向上は見られない。さらに、低干渉度の小さな光源により露光を行なう場合と比べて、斜入射露光を行なう場合の方が焦点深度も低くなるという欠点もある。

【0010】

【特許文献1】

特開平9-90601号公報（第2頁～第3頁及び第2図）

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

前述のように、コンタクトパターンのような微細なレジスト除去パターンをポジ型レジストプロセスにより形成しようとした場合、垂直入射成分だけの照明となる干渉度0.5程度以下の小さな光源をハーフトーン位相シフトマスクと組み合わせて露光を行なう必要があった。この方法は、微細な孤立配置のコンタクトパターンの形成には非常に効果的であった。

【0012】

ところで、近年の半導体装置の高集積化に伴って、配線パターンのみならずコンタクトパターンにおいても孤立配置されたパターンと共に密に配置されたパターンが必要とされるようになってきている。ここで、密に配置されたコンタクトパターンの形成において高い焦点深度を実現するためには、密に配置された配線パターンと同様に斜入射露光が効果的である。

【0013】

また、近年、配線パターン形成においても、配線パターンとなるラインパターンの微細化に加えて、配線間のスペースパターンの微細化も必要となってきている。ここで、孤立した微小な配線間スペースパターンの形成に、低干渉度の光源をハーフトーン位相シフトマスクと組み合わせて使用することが効果的であることは孤立コンタクトパターンの場合と同様である。

【0014】

すなわち、高密度の配線パターン及び高密度のコンタクトパターンの形成には斜入射露光が必須である一方、斜入射露光を行なうと、孤立のコンタクトパターン及び孤立の配線間スペースパターンのコントラスト及び焦点深度が著しく悪化する。このコントラスト及び焦点深度の悪化は、解像度向上のためにハーフトーン位相シフトマスクを用いた場合、より一層顕著になる。

【0015】

逆に、孤立した微小コンタクトパターン及び孤立した微小配線間スペースパターンの形成のために、低干渉度の小さな光源を用いると、高密度パターン又は微小ラインパターンの形成が困難になるという問題がある。

【0016】

従って、孤立配置された微小なスペースパターンに対する最適照明条件と、密に配置されたパターン又は微小なラインパターンに対する最適照明条件とは相反関係にある。このため、微小なレジストパターンの形成と微小な孤立レジスト除去パターンの形成とを同時に進行するために、光源からの垂直入射成分及び斜入射成分のそれぞれの効果に対してトレードオフが行なわれ、結果として干渉度が中程度（0.5～0.6程度）の光源が用いられる。しかし、この場合、垂直入射及び斜入射の両方の効果が相殺されるので、孤立ラインパターン又は密集パターンと孤立スペースパターンとを同時に微細化して半導体装置のさらなる高集積化を実現していくことは困難になる。

【0017】

前記に鑑み、本発明は、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化できるようにすることを目的とする。

【0018】**【課題を解決するための手段】**

前記の目的を達成するために、本発明に係る第1のフォトマスクは、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えている。半遮光部及び透光部は露光光を互いに同位相で透過させる。周辺部は、半遮光部及び透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる。透光部形成領域の透過性基板の表面は露出している。周辺部形成領域の透過性基板上に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第1の位相シフト膜が形成されている。半遮光部形成領域の透過性基板上に、第1の位相シフト膜と、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第2の

位相シフト膜とが順次積層されている。第1の位相シフト膜及び第2の位相シフト膜の積層構造は、露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ透光部を基準として露光光を同位相で透過させる。

【0019】

第1のフォトマスクによると、透光部と、該透光部と同位相で露光光を透過させる遮光性の半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部が挟まれる。その結果、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、第1のフォトマスクと斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

10

【0020】

また、第1のフォトマスクによると、第1の位相シフト膜の単層構造によって周辺部の透過率を規定できると共に、第1の位相シフト膜と第2の位相シフト膜との積層構造によって半遮光部の透過率を規定できるので、周辺部及び半遮光部のそれぞれの透過率の組み合わせを任意に設定することができる。

【0021】

尚、本明細書において、露光光に対して透光性を有するとは、レジストを感光させる透過率を有することを意味し、露光光に対して遮光性を有するとは、レジストを感光させない透過率を有することを意味する。また、同位相とは、 $-30 + 360 \times n$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下の位相差（但し n は整数）を意味し、反対位相とは、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下の位相差を意味する。

20

【0022】

第1のフォトマスクにおいて、第1の位相シフト膜は、第1の透過率調整膜と、第1の透過率調整膜上に形成された第1の位相調整膜とを有し、第1の透過率調整膜は、透光部を基準として露光光を同位相で透過させると共に露光光に対して相対的に低い透過率を有し、第1の位相調整膜は、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させると共に露光光に対して相対的に高い透過率を有することが好ましい。

30

【0023】

このようにすると、第1の位相シフト膜において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、第1の位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0024】

第1のフォトマスクにおいて、第2の位相シフト膜は、第2の透過率調整膜と、第2の透過率調整膜上に形成された第2の位相調整膜とを有し、第2の透過率調整膜は、透光部を基準として露光光を同位相で透過させると共に露光光に対して相対的に低い透過率を有し、第2の位相調整膜は、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させると共に露光光に対して相対的に高い透過率を有することが好ましい。

40

【0025】

このようにすると、第2の位相シフト膜において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、第2の位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0026】

第1のフォトマスクにおいて、周辺部は、透光部と接するように配置されていてもよいし又は透光部から所定の寸法だけ離して配置されていてもよい。

【0027】

第1のフォトマスクにおいて、第1の位相シフト膜は、透光部を基準として露光光を反対

50

位相で透過させる第1の位相調整膜を有し、第2の位相シフト膜は、第1の位相調整膜の上に形成され且つ透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第2の位相調整膜を有し、第1の位相調整膜と第2の位相調整膜との間に、露光光に対する透過率が各位相調整膜よりも低い透過率調整膜が形成されていることが好ましい。

【0028】

このようにすると、半遮光部が、第1の位相調整膜と第2の位相調整膜との間に低透過率の透過率調整膜が設けられた構造を有することとなるため、半遮光部と周辺部との間の透過率の差を大きくすることができるので、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストをより強調できる。また、周辺部形成領域の第1の位相調整膜の上に透過率調整膜が部分的に形成されている構造を採用した場合、周辺部の実効的な透過率を、透過率調整膜による周辺部の被覆面積率（＝（周辺部形成領域の透過率調整膜の面積）／（周辺部の面積））を用いて細かく調整することができる。従って、同一のフォトマスク上においてパターン形状に応じて周辺部の透過率を任意に変化させることが可能になる。

【0029】

第1のフォトマスクにおいて、露光光に対する半遮光部の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。

【0030】

このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、第1のフォトマスクによるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0031】

本発明に係る第2のフォトマスクは、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えている。半遮光部及び透光部は露光光を互いに同位相で透過させる。周辺部は、半遮光部及び透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる。透光部形成領域の透過性基板の表面は露出している。半遮光部形成領域の透過性基板上に、露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ透光部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光膜が形成されている。周辺部形成領域の透過性基板上に、半遮光膜が、透光部を基準として露光光が反対位相で透過する厚さを持つように薄膜化された状態で形成されている。

【0032】

第2のフォトマスクによると、透光部と、該透光部と同位相で露光光を透過させる遮光性の半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部が挟まれる。その結果、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、第2のフォトマスクと斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0033】

また、第2のフォトマスクによると、半遮光部が半遮光膜の単層構造から構成されているため、マスク構造が非常に単純になる。また、半遮光膜を部分的に薄膜化するだけで、言い換えると、半遮光膜に凹部を設けるだけで周辺部を簡単に形成できる。さらに、多層膜構成の半遮光部を用いる場合と比べて、周辺部と透光部との間に微小幅の半遮光部を介在させた場合にも、該微小幅の半遮光部を構成する膜の剥離を抑制できる。

【0034】

第2のフォトマスクにおいて、半遮光膜は、透過性基板上に形成された透過率調整膜と、透過率調整膜上に形成された位相調整膜とを有し、透過率調整膜は、透光部を基準として露光光を同位相で透過させると共に露光光に対して相対的に低い透過率を有し、位相調整膜は露光光に対して相対的に高い透過率を有し、半遮光部形成領域の位相調整膜は、透光部を基準として露光光を同位相で透過させる厚さを有し、周辺部形成領域の位相調整膜は

、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる厚さを有することが好ましい。

【0035】

このようにすると、半遮光膜において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、半遮光膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0036】

第2のフォトマスクにおいて、半遮光膜は、透過性基板上に形成された位相調整膜と、半遮光部形成領域の位相調整膜の上のみに形成された透過率調整膜とを有し、透過率調整膜は、透光部を基準として露光光を同位相で透過させると共に露光光に対して相対的に低い透過率を有し、位相調整膜は露光光に対して相対的に高い透過率を有し、半遮光部形成領域の位相調整膜は、透光部を基準として露光光を同位相で透過させる厚さを有し、周辺部形成領域の位相調整膜は、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる厚さを有することが好ましい。

【0037】

このようにすると、半遮光膜において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、半遮光膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0038】

第2のフォトマスクにおいて、周辺部は、透光部と接するように配置されていてもよいし又は透光部から所定の寸法だけ離して配置されていてもよい。

【0039】

第2のフォトマスクにおいて、露光光に対する半遮光部の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。

【0040】

このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、第2のフォトマスクによるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0041】

本発明に係る第3のフォトマスクは、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えている。半遮光部及び透光部は露光光を互いに同位相で透過させる。周辺部は、半遮光部及び透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる。透光部形成領域の透過性基板の表面は露出している。半遮光部形成領域の透過性基板上に、露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ透光部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光膜が形成されている。周辺部形成領域の透過性基板は、透光部を基準として露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げられている。

【0042】

第3のフォトマスクによると、透光部と、該透光部と同位相で露光光を透過させる遮光性の半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部が挟まれる。その結果、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、第3のフォトマスクと斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0043】

また、第3のフォトマスクによると、半遮光部が半遮光膜の単層構造から構成されているため、マスク構造が非常に単純になる。

【0044】

第3のフォトマスクにおいて、半遮光膜は、透過性基板上に形成された透過率調整膜と、

透過率調整膜上に形成された位相調整膜とを有し、透過率調整膜は露光光に対して相対的に低い透過率を有し、位相調整膜は露光光に対して相対的に高い透過率を有することが好ましい。

【0045】

このようにすると、半遮光膜において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、半遮光膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0046】

第3のフォトマスクにおいて、周辺部は、透光部と接するように配置されていてもよいし又は透光部から所定の寸法だけ離して配置されていてもよい。

10

【0047】

第3のフォトマスクにおいて、露光光に対する半遮光部の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。

【0048】

このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、第3のフォトマスクによるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0049】

本発明に係るパターン形成方法は、本発明に係る第1～第3のフォトマスクのいずれか1つを用いたパターン形成方法を前提とし、基板上にレジスト膜を形成する工程と、レジスト膜にフォトマスクを介して露光光を照射する工程と、露光光を照射されたレジスト膜を現像して、レジスト膜をパターン化する工程とを備えている。

20

【0050】

本発明のパターン形成方法によると、本発明に係る第1～第3のフォトマスクと同様の効果が得られる。また、前述の効果は、露光光を照射する工程において斜入射照明法（斜入射露光法）を用いることにより確実に得られる。

【0051】

本発明に係る第1のフォトマスクの作成方法は、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトマスクの作成方法である。具体的には、透過性基板上に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第1の位相シフト膜を形成する第1の工程と、第1の位相シフト膜上に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第2の位相シフト膜を形成する第2の工程と、透光部形成領域及び周辺部形成領域の第2の位相シフト膜を除去する第3の工程と、第3の工程よりも後に、透光部形成領域の第1の位相シフト膜を除去する第4の工程とを備えている。半遮光部形成領域の透過性基板上に形成された第1の位相シフト膜及び第2の位相シフト膜の積層構造は、露光光を部分的に透過させる透過率を有すると共に透光部を基準として露光光を同位相で透過させる。

30

【0052】

第1のフォトマスクの作成方法によると、それぞれ露光光を位相反転させて透過させる第1及び第2の位相シフト膜を透過性基板上に順次形成した後、透光部形成領域及び周辺部形成領域の第2の位相シフト膜を除去し、その後、透光部形成領域の第1の位相シフト膜を除去する。すなわち、透光部は透過性基板の露出部分からなり、半遮光部は第1及び第2の位相シフト膜の積層構造からなり、周辺部は第1の位相シフト膜の単層構造からなる。ここで、第1及び第2の位相シフト膜の積層構造は透光部を基準として露光光を同位相で透過させる。このため、透光部と、透光部と同位相で露光光を透過させる半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部を挟むことができる。従って、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、斜

40

50

入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0053】

また、第1のフォトマスクの作成方法によると、透過性基板上に積層された第1及び第2の位相シフト膜に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうことによって、半遮光部と周辺部とを有する任意形状のマスクパターンの作成を容易に行なえる。

【0054】

また、第1のフォトマスクの作成方法によると、透光部と周辺部とが離間している場合、言い換えると、透光部と周辺部との間に、第1及び第2の位相シフト膜の積層構造よりなる半遮光部を介在させる場合、パターン化された第2の位相シフト膜をマスクとして、第1の位相シフト膜に対して自己整合的にエッチングを行なうことができるので、フォトマスク加工を正確に行なえる。

【0055】

本発明に係る第2のフォトマスクの作成方法は、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトマスクの作成方法である。具体的には、透過性基板上に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第1の位相シフト膜を形成する第1の工程と、第1の位相シフト膜上に、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる第2の位相シフト膜を形成する第2の工程と、周辺部形成領域の第2の位相シフト膜を除去する第3の工程と、第3の工程よりも後に、透光部形成領域の第2の位相シフト膜及び第1の位相シフト膜を順次除去する第4の工程とを備えている。半遮光部形成領域の透過性基板上に形成された第1の位相シフト膜及び第2の位相シフト膜の積層構造は、露光光を部分的に透過させる透過率を有すると共に透光部を基準として露光光を同位相で透過させる。

【0056】

第2のフォトマスクの作成方法によると、それぞれ露光光を位相反転させて透過させる第1及び第2の位相シフト膜を透過性基板上に順次形成した後、周辺部形成領域の第2の位相シフト膜を除去し、その後、透光部形成領域の第2の位相シフト膜及び第1の位相シフト膜を除去する。すなわち、透光部は透過性基板の露出部分からなり、半遮光部は第1及び第2の位相シフト膜の積層構造からなり、周辺部は第1の位相シフト膜の単層構造からなる。ここで、第1及び第2の位相シフト膜の積層構造は透光部を基準として露光光を同位相で透過させる。このため、透光部と、透光部と同位相で露光光を透過させる半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部を挟むことができる。従って、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0057】

また、第2のフォトマスクの作成方法によると、透過性基板上に積層された第1及び第2の位相シフト膜に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうことによって、半遮光部と周辺部とを有する任意形状のマスクパターンの作成を容易に行なえる。

【0058】

また、第2のフォトマスクの作成方法によると、周辺部形成領域の第2の位相シフト膜を除去する工程と、透光部形成領域の第2の位相シフト膜を除去する工程とを別々に行なう。このため、透光部と周辺部とが微小幅で離間している場合、言い換えると、透光部と周辺部との間に、第1及び第2の位相シフト膜の積層構造よりなる微小幅の半遮光部を介在させる場合、フォトマスク加工のマージンが大きくなる。

【0059】

第1又は第2のフォトマスクの作成方法において、露光光に対する半遮光部の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。

【0060】

このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、第1又は第2のフォトマスクの作成方法によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0061】

【発明の実施の形態】

まず、本発明を実現する上で本願発明者が考案したフォトマスクによる解像度向上方法、具体的には、孤立スペースパターンの解像度を向上させるための「輪郭強調法」について説明する。

【0062】

(輪郭強調法)

以下、ポジ型レジストプロセスによりコンタクトパターンを形成する場合を例として説明する。尚、「輪郭強調法」は、ポジ型レジストプロセスにおける微小スペースパターンであれば、その形状に関わらず全く同様に成り立つ原理である。また、「輪郭強調法」は、ネガ型レジストプロセスを用いる場合も、ポジ型レジストプロセスにおける微小スペースパターン(レジスト除去パターン)を微小パターン(レジストパターン)と置き換えて考えれば全く同様に適用できる。

【0063】

図1(a)～(g)は、コンタクトパターンを形成するための露光において光の転写像のコントラストを強調するための原理を説明する図である。

【0064】

図1(a)は、露光光に対して6%以上で且つ15%以下の透過率を持つ半遮光部により、コンタクトパターンと対応する開口部(つまり透光部)が囲まれてなるフォトマスクの平面図であり、図1(b)は、図1(a)に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示している。

【0065】

図1(c)は、図1(a)に示す開口部の周辺領域に位相シフターが配置され且つその他の領域に完全遮光部が配置されてなるフォトマスクの平面図であり、図1(d)は、図1(c)に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示している。ここで、図1(d)に示す光の振幅強度は、該光が位相シフターを透過したものであるため、図1(b)に示す光の振幅強度に対して反対位相の関係にある。

【0066】

図1(e)は、露光光に対して6%以上で且つ15%以下の透過率を持つ半遮光部により、コンタクトパターンと対応する開口部及びその周辺領域に配置された位相シフターが囲まれてなるフォトマスクの平面図であり、図1(f)及び(g)は、図1(e)に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度及び光強度(光の振幅強度の2乗)を示している。図1(e)に示すフォトマスクは、図1(a)に示すフォトマスクにおける開口部の周辺領域に位相シフターが配置されたフォトマスクである。ここで、図1(e)に示すフォトマスクは、「輪郭強調法」を実現する本発明のフォトマスク(以下、輪郭強調マスクと称する)の一例である。

【0067】

尚、図1(a)又は(e)に示すフォトマスクにおいて、半遮光部を透過する光と、開口部を透過する光とは同位相(具体的には位相差が $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))である。また、図1(e)に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光と、開口部を透過する光とは反対位相(具体的には位相差が $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))である。

【0068】

図1 (e) に示す輪郭強調マスクを透過した光の転写像が強調される原理は次の通りである。すなわち、図1 (e) に示すフォトマスクの構造は、図1 (a) 及び (c) のそれぞれに示すフォトマスクを重ね合わせた構造になっている。従って、図1 (b)、(d)、(f) に示すように、図1 (e) に示すフォトマスクを透過した光の振幅強度は、図1 (a) 及び (c) のそれぞれに示すフォトマスクを透過した光の振幅強度を重ね合わせたような分布になっている。ここで、図1 (f) から分かるように、図1 (e) に示すフォトマスクにおいて、開口部の周辺に配置された位相シフターを透過した光は、開口部及び半遮光部のそれぞれを透過した光の一部を打ち消すことができる。従って、図1 (e) に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光の強度を、開口部周辺の光が打ち消されるように調整すれば、図1 (g) に示すように、開口部周辺と対応する光強度がほぼ0に近い値まで減少した光強度分布の形成が可能となる。

【0069】

また、図1 (e) に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光は、開口部周辺の光を強く打ち消す一方、開口部中央付近の光を弱く打ち消す。その結果、図1 (g) に示すように、図1 (e) に示すフォトマスクを透過した光における、開口部中央から開口部周辺に向けて変化する光強度分布のプロファイルの傾きが増大するという効果も得られる。従って、図1 (e) に示すフォトマスクを透過した光の強度分布はシャープなプロファイルを有するようになるので、コントラストの高い像が形成される。

【0070】

以上が本発明における光学像（光強度の像（イメージ））を強調する原理である。すなわち、低透過率の半遮光部で形成されたマスクにおける開口部の輪郭に沿って位相シフターを配置することにより、図1 (a) に示すフォトマスクによって形成される光強度像の中に、開口部の輪郭線と対応する非常に強い暗部を形成することが可能となる。これによって、開口部の光強度と開口部周辺の光強度との間でコントラストが強調された光強度分布を形成できる。本明細書においては、このような原理によってイメージ強調を行なう方法を「輪郭強調法」と称すると共に、この原理を実現するフォトマスクを「輪郭強調マスク」と称する。

【0071】

ここで、本発明の基本原則となる輪郭強調法と、従来のハーフトーン位相シフトマスクによる原理との違いについて説明する。輪郭強調法の原理において最も重要なことは、半遮光部及び開口部のそれぞれを透過する光の一部が位相シフターを透過する光に打ち消され、それによって光強度分布内に暗部を形成している点である。すなわち、位相シフターがあたかも不透明パターンのごとき振る舞いをするという点である。そのため、図1 (f) に見られるように、輪郭強調マスクを透過した光の振幅強度において、同じ位相側での強度変化によって暗部が形成されている。後で詳しく説明するが、この状態のときのみ斜入射露光によってコントラストを向上させることが可能になる。

【0072】

一方、コンタクトパターンと対応する開口部を有する従来のハーフトーン位相シフトマスクを露光したときの光強度分布においても、図27 (g) に示すように、開口部周辺に強い暗部が形成される。しかし、従来のハーフトーン位相シフトマスクを露光したときの光の振幅強度を表す図27 (f) と、輪郭強調マスクを露光したときの光の振幅強度を表す図1 (f) とを比べると、次のような違いが明らかに存在する。すなわち、図27 (f) に示すように、ハーフトーン位相シフトマスクを露光した場合の振幅強度分布においては、位相反転が生じる位相境界が存在する。また、図27 (g) に示すように、この位相境界が、位相端による光強度分布の暗部となってイメージ強調が実現されている。但し、位相端による暗部が形成されてコントラストの強調効果を得るためには、フォトマスクに対して垂直に入射する光の成分が必要となる。逆に、斜入射露光によっては位相境界が発生しても位相端による暗部は形成されず、その結果、コントラスト強調効果は得られない。これが、ハーフトーン位相シフトマスクに対して斜入射露光を行なってもコントラスト強調効果が生じない理由である。言い換えると、ハーフトーン位相シフトマスクによりコン

トラスト強調効果を得るためには、低干渉度の小さな光源を用いて露光を行なう必要がある。

【0073】

以上のように、コンタクトパターン形成において、ハーフトーン位相シフトマスクと輪郭強調マスクとはよく似た光強度分布を実現する一方、暗部形成原理の違い（輪郭強調マスクを透過した光の振幅強度分布には位相境界が生じない（図1（f）参照））により、輪郭強調法の場合、斜入射露光によっても微小な孤立スペースパターンの形成に必要な光の転写像を高いコントラストで形成できる。

【0074】

図2（a）は、コンタクトパターンと対応する開口部が位相シフターによって囲まれてなるハーフトーン位相シフトマスクの平面図であり、図2（b）は、図2（a）に示すハーフトーン位相シフトマスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図2（c）は、図2（a）に示すハーフトーン位相シフトマスクに対して斜入射露光の1つである輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示している。ここで、輪帯照明としては、外径 $\sigma = 0.75$ 、内径 $\sigma = 0.5$ の2/3輪帯と呼ばれるものを用いた。また、露光条件としては、光源波長 $\lambda = 193\text{ nm}$ （ArF光源）、開口数NA = 0.6を用いた。さらに、コンタクト寸法は180 nm四方であり、位相シフターの透過率は6%である。尚、以下の説明においては、特に断らない限り、光強度を露光光の光強度を1としたときの相対光強度で表す。

【0075】

図2（b）及び（c）に示すように、ハーフトーン位相シフトマスクを用いた場合、小さな光源による露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されてコントラストの高い像が形成される一方、斜入射露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されないために非常にコントラストの悪い像が形成される。

【0076】

図2（d）は、コンタクトパターンと対応する開口部と該開口部を囲む領域に位置する位相シフターとが、完全遮光部となるクロム膜により囲まれてなるエッジ強調型位相シフトマスクの平面図であり、図2（e）は、図2（d）に示すエッジ強調型位相シフトマスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図2（f）は、図2（e）に示すエッジ強調型位相シフトマスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示している。ここで、エッジ強調型位相シフトマスクは、ハーフトーン位相シフトマスクと同様に、開口部と位相シフターとの間に位相端による暗部を形成してイメージ強調を実現するものである。また、輪帯照明の種類、露光条件及び位相シフターの透過率は、図2（a）～（c）に示すハーフトーン位相シフトマスクの場合と同様である。さらに、コンタクト寸法は220 nm四方であり、位相シフターの幅は80 nmである。

【0077】

図2（e）及び（f）に示すように、エッジ強調型位相シフトマスクを用いた場合、ハーフトーン位相シフトマスクと同様に、小さな光源による露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されてコントラストの高い像が形成される一方、斜入射露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されないために非常にコントラストの悪い像が形成される。

【0078】

次に、輪郭強調法において、斜入射露光成分によって高いコントラストが得られることを詳細に示す前に、図1（e）に示すような輪郭強調マスクの構造であっても、位相シフターの幅が過剰に大きくなると、輪郭強調法の効果が得られなくなることを説明しておく。

【0079】

図3（a）は、露光光に対して6%以上で且つ15%以下の透過率を持つ半遮光部により

、コンタクトパターンと対応する開口部と該開口部を囲む領域に位置する小さい幅の位相シフターとが囲まれてなる輪郭強調マスクの平面図である。また、図3 (b) は、図3 (a) に示す輪郭強調マスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図3 (c) は、図3 (a) に示す輪郭強調マスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示している。

【0080】

また、図3 (d) は、露光光に対して6%以上で且つ15%以下の透過率を持つ半遮光部により、コンタクトパターンと対応する開口部と該開口部を囲む領域に位置する大きい幅の位相シフターとが設けられてなる輪郭強調マスクの平面図である。また、図3 (e) は、図3 (d) に示す輪郭強調マスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図3 (f) は、図3 (d) に示す輪郭強調マスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示している。

【0081】

ここで、図3 (d) に示す輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅は輪郭強調法の原理が成り立たないほど過剰に大きく設定されているものとする。具体的には、図3 (a) 及び図3 (d) に示す開口部の寸法は共に220nm四方であり、図3 (a) に示す位相シフターの幅は60nmであり、図3 (d) に示す位相シフターの幅は150nmである。また、輪帯照明の種類及び露光条件は、図2 (a) ~ (c) に示すハーフトーン位相シフトマスクの場合と同様である。

【0082】

図3 (b) 及び (c) に示すように、輪郭強調法の原理が成り立つ図3 (a) に示す輪郭強調マスクを用いた場合、位相シフターの不透明化作用による暗部は光源の種類によらず現れていると共に光強度分布におけるコントラストは輪帯照明によってより高い値が得られている。

【0083】

一方、位相シフターが過剰に大きい図3 (d) に示す輪郭強調マスクを用いた場合、位相シフターを透過する光が強くなりすぎるため、振幅強度分布において反対位相の強度分布が形成されてしまう。このような状況では、ハーフトーン位相シフトマスク又はエッジ強調型位相シフトマスクと同様の原理が作用する。すなわち、図3 (e) 及び (f) に示すように、小さな光源による露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されてコントラスト強調効果が現れる一方、斜入射露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されないために非常にコントラストの悪い像が形成される。

【0084】

すなわち、輪郭強調法を実現するためには、マスク構造において、半遮光部に囲まれた開口部の周辺に位相シフターが配置されているだけでなく、その位相シフター内を透過する光が制限されている必要がある。後者の方は、原理的なメカニズムによれば、位相シフターを透過する光が、半遮光部及び開口部のそれぞれを透過する光を打ち消す以上の強度を有し、且つその振幅強度分布において一定の大きさ以上の反対位相の強度分布が形成されないことを意味する。

【0085】

実際に位相シフターを透過する光を制限するために、位相シフターの透過率に応じてその幅に条件 (具体的には上限) を設ける方法を用いることができる。以下、この条件について、位相シフターを透過する光によって位相シフター周辺からの光を打ち消すための条件を考察した結果 (図4 (a) 及び (b) 参照) を用いて説明する。

【0086】

図4 (a) に示すように、透過性基板上に透過率T、線幅Lの位相シフターが設けられたフォトマスク (位相シフターマスク) を用いた露光において、被露光材料上における位相

シフターの中心と対応する位置に生じる光強度を $I_h(L, T)$ とする。また、位相シフターマスクの位相シフターに代えて完全遮光部が設けられたフォトマスク（遮光マスク）を用いた露光において、被露光材料上における完全遮光部の中心と対応する位置に生じる光強度を $I_c(L)$ とする。また、位相シフターマスクの位相シフターに代えて開口部（透光部）が設けられ、且つ位相シフターマスクの透光部に代えて完全遮光部が設けられたフォトマスク（透過マスク）を用いた露光において、被露光材料上における開口部の中心と対応する位置に生じる光強度を $I_o(L)$ とする。

【0087】

図4（b）は、図4（a）に示す位相シフターマスクを用いた露光において位相シフターの透過率 T 及び線幅 L を色々変化させた場合における光強度 $I_h(L, T)$ のシミュレーション結果を、透過率 T 及び線幅 L をそれぞれ縦軸及び横軸に取って光強度の等高線で表した様子を示している。ここで、 $T = I_c(L) / I_o(L)$ の関係を表すグラフを重ね書きしている。また、シミュレーション条件は、露光光の波長 $\lambda = 0.193 \mu\text{m}$ （ArF光源）、露光機の投影光学系の開口数 $NA = 0.6$ 、露光光源の干渉度 $\sigma = 0.8$ （通常光源）である。

【0088】

図4（b）に示すように、光強度 $I_h(L, T)$ が最小となる条件は $T = I_c(L) / I_o(L)$ の関係で表すことができる。これは、物理的には、位相シフター内を透過する光の光強度を表す $T \times I_o(L)$ と、位相シフター外を透過する光の光強度 $I_c(L)$ とが釣り合う関係を表している。従って、位相シフター内を透過する光が過剰となって振幅強度分布において反対位相の振幅強度が現れる位相シフターの幅 L は、 $T \times I_o(L)$ が $I_c(L)$ よりも大きくなる幅 L ということになる。

【0089】

また、光源の種類によって多少の違いはあるが、透過率1の位相シフター内を透過する光が位相シフター外を透過する光と釣り合うときの幅 L は $0.3 \times \lambda$ （光源波長）/ NA （開口数）程度（図4（b）の場合で100 nm程度）であることが、種々のシミュレーション結果から経験的に得られた。さらに、図4（b）から分かるように、6%（0.06）以上の透過率を有する位相シフター内を光が過剰に透過することを防止するためには、透過率100%（1.0）の位相シフターの場合と比べて幅 L を2倍以下にする必要がある。すなわち、6%以上の透過率を有する位相シフター内を光が過剰に透過することを防止するためには、位相シフターの幅 L の上限は $0.6 \times \lambda / NA$ 以下でなければならない。

【0090】

以上の考察を輪郭強調マスクに当てはめると、輪郭強調マスクにおいては位相シフター外を透過する光としては、実質的に位相シフターの両側ではなく片側のみを考慮すればよいので、輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅 L の上限は上記の考察による上限の半分と考えればよい。従って、輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅 L の上限は、位相シフターの透過率が6%以上の場合で $0.3 \times \lambda / NA$ 以下である。但し、これは十分条件ではなく、位相シフターの透過率の高さに応じて、位相シフターの幅 L の上限を $0.3 \times \lambda / NA$ よりも小さくする必要がある。すなわち、位相シフターの透過率が100%又は50%以上の高透過率である場合、位相シフターの幅 L を $0.2 \times \lambda / NA$ 以下、好ましくは $0.15 \times \lambda / NA$ 以下にする必要がある。また、微細なホールパターンの形成においては、位相シフターを透過する光と、ホールパターンと対応する透光部を透過する光との干渉によって光強度分布のプロファイルを強調する効果を得るためには、位相シフターは、透光部つまりホールの中心からの距離が $0.5 \times \lambda / NA$ 以下の領域に配置されることが好ましい。よって、位相シフターの幅 L を $0.3 \times \lambda / NA$ 以下にする場合、ホールパターン形成においては、ホールパターンと対応する透光部の中心からの距離が $0.5 \times \lambda / NA \sim 0.8 \times \lambda / NA$ 以下の範囲に、透光部を囲む位相シフターが存在することが好ましい。

【0091】

尚、本明細書においては、特に断らない限り、位相シフター幅等の種々のマスク寸法を被露光材料上での寸法に換算して表すこととするが、マスク実寸法は換算寸法に露光機の縮小投影光学系の縮小倍率 M を乗ずることにより簡単に求めることができる。

【0092】

次に、輪郭強調法において斜入射露光によってイメージ強調が実現されることを、輪郭強調マスクに対して様々な光源位置から露光を行なった場合における光強度分布のコントラストの変化に基づいて詳細に説明する。

【0093】

図5 (a) は輪郭強調マスクの一例の平面図である。ここで、半遮光部の透過率は7.5%であり、位相シフター及び開口部の透過率は100%である。また、開口部の寸法は200nm四方であり、位相シフターの幅は50nmである。

【0094】

図5 (c) は、図5 (a) に示す輪郭強調マスクに対して、開口数 NA で規格化された様々な光源位置の点光源から露光を行なった場合における図5 (a) の線分 AA' と対応する光強度分布を光学シミュレーションにより計算して、該計算結果 (例えば図5 (b) に示されるような光強度分布) における開口部中央に相当する位置の光強度 I_o を読み取り、該光強度 I_o を各光源位置に対してプロットした結果を示している。ここでは、光源波長 λ が193nm (ArF光源)、開口数 NA が0.6として光学計算によるシミュレーションを行なった結果を示している。尚、以下の説明では特に断らない限り、光学シミュレーションにおいて波長 $\lambda = 193\text{nm}$ (ArF光源)、開口数 $NA = 0.6$ の条件で計算を行なうものとする。

【0095】

図5 (c) に示すように、開口部中央の光強度 I_o は外側の光源位置 (図5 (c) の原点から遠い光源位置) の点光源で露光される程大きくなる。すなわち、斜入射成分の強い光源で露光される程、コントラストが強くなることが分かる。図面を参照しながら具体的に説明する。図5 (d)、(e)、(f) は、図5 (c) に示す各点光源のサンプル点 P_1 、 P_2 、 P_3 のそれぞれにおける、図5 (a) の線分 AA' と対応する光強度分布をプロットしたものである。図5 (d)、(e)、(f) に示すように、点光源の位置が外側になるに従って、言い換えると、大きい斜入射光源位置になるに従って、高いコントラストの像が形成されている。

【0096】

次に、比較のために、ハーフトーン位相シフトマスクに対して様々な光源位置から露光を行なった場合における光強度分布のコントラストの変化について説明する。図6 (a) はハーフトーン位相シフトマスクの一例の平面図である。ここで、位相シフターの透過率は6%であり、開口部の透過率は100%である。また、開口部の寸法 (被露光ウェハ上換算) は180nm四方である。

【0097】

図6 (c) は、図6 (a) に示すハーフトーン位相シフトマスクに対して、開口数 NA で規格化された様々な光源位置の点光源から露光を行なった場合における図6 (a) の線分 AA' と対応する光強度分布を光学シミュレーションにより計算して、該計算結果 (例えば図6 (b) に示されるような光強度分布) における開口部中央に相当する位置の光強度 I_o を読み取り、該光強度 I_o を各光源位置に対してプロットした結果を示している。

【0098】

図6 (c) に示すように、開口部中央の光強度 I_o は内側の光源位置 (図6 (c) の原点に近い光源位置) の点光源で露光される程大きくなる。すなわち、垂直入射成分の強い光源で露光される程、コントラストが強くなることが分かる。図面を参照しながら具体的に説明する。図6 (d)、(e)、(f) は、図6 (c) に示す各点光源のサンプル点 P_1 、 P_2 、 P_3 のそれぞれにおける、図6 (a) の線分 AA' と対応する光強度分布をプロットしたものである。図6 (d)、(e)、(f) に示すように、点光源の位置が内側になるに従って、言い換えると、垂直入射光源位置になるに従って、高いコントラストの像

が形成されている。

【0099】

以上に説明した、図5(a)～(f)に示す結果と図6(a)～(f)に示す結果とを見比べても分かるように、輪郭強調法は、コンタクトパターン等の微小な孤立スペースパターンの形成において、従来方法では実現できなかった、斜入射露光による光強度分布のコントラスト強調を可能とするものである。

【0100】

ここまで輪郭強調マスクによってコントラストが向上することを説明してきたが、次に、輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率に対するコントラスト及びDOFの依存性について説明する。ここでは、図7(a)に示す輪郭強調マスクを用いて、パターン形成における各種マージンをシミュレーションした結果に基づいた説明を行なう。図7(b)は、図7(a)に示す輪郭強調マスクに対して露光を行なったときに形成される光強度分布を示している。図7(b)においては、図7(a)に示す輪郭強調マスクを用いて幅100nmのホールパターンを形成しようとした場合に定義される各種のマージンに関する値も図中に示している。具体的には、臨界強度 I_{th} はレジスト膜が感光する光強度であり、この値に対して各種のマージンが定義される。例えば I_p を光強度分布のピーク値とすると、 I_p/I_{th} はレジスト膜を感光させる感度に比例する値となり、この値が高いほど好ましい。また、 I_b を半遮光部を透過する光のバックグラウンド強度とすると、 I_{th}/I_b が高いほどパターン形成時にレジスト膜の膜減り等が発生しないことを意味し、この値が高いほど好ましい。一般に I_{th}/I_b の値は2以上あることが望まれている。以上のことを踏まえて各マージンについて説明する。

【0101】

図7(c)は、図7(a)に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対するDOFの依存性について計算した結果を示している。ここで、DOFは、パターンの仕上がり寸法の変化が10%以内に収まるフォーカス位置の幅として定義してある。図7(c)に示すように、DOFの向上には半遮光部の透過率は高いほど好ましい。また、図7(d)は、図7(a)に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対するピーク値 I_p について計算した結果を示している。図7(d)に示すように、ピーク値 I_p 、つまりコントラストの向上にも半遮光部の透過率は高いほど好ましい。以上の結果から、輪郭強調マスクにおいては、半遮光部の透過率は高いほど好ましく、具体的には、図7(c)及び(d)に示すように、透過率が0%から6%程度まで上がる間に露光マージンの向上率が大きくなっており、透過率が6%以上の半遮光部を用いることが好ましいことが理解できる。

【0102】

図7(e)は、図7(a)に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対する I_{th}/I_b について計算した結果を示している。図7(e)に示すように、 I_{th}/I_b は半遮光部の透過率が高くなるほど低くなっており、半遮光部の透過率が高くなりすぎると I_{th}/I_b の向上には好ましくない。具体的には、半遮光部の透過率が15%程度で I_{th}/I_b は2よりも小さくなってしまふ。また、図7(f)は、図7(a)に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対する I_p/I_{th} について計算した結果を示している。図7(f)に示すように、半遮光部の透過率が15%程度のところに I_p/I_{th} はピークを持っている。

【0103】

以上に説明したように、輪郭強調マスクにおいては、DOF又はコントラストは半遮光部の透過率を高くするほど向上し、その効果は半遮光部の透過率が6%を越えるとより顕著になる。一方、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り防止、又はレジスト感度の最適化等の観点からは、半遮光部の透過率の最大値は15%程度にしておくことが好ましい。従って、輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率の最適値は6%以上で且つ15%以下であると言える。すなわち、半遮光部は、レジストを感光させない程度に露光光を部分的に透過させるものである。言い換えると、半遮光部は、全露光量のうちの一部分を透過

させる。このような半遮光部の材料としては、 $ZrSiO$ 、 $CrAlO$ 、 $TaSiO$ 、 $MoSiO$ 又は $TiSiO$ 等の酸化物を用いることができる。

【0104】

図8(a)～(f)は、コンタクトパターンと対応する開口部が設けられた輪郭強調マスクにおける、半遮光部と位相シフターとによって構成される遮光性のマスクパターンのバリエーションを示す平面図である。

【0105】

図8(a)に示す輪郭強調マスク1aは、図1(e)に示す輪郭強調マスクと同じ構成を有している。すなわち、輪郭強調マスク1aは透過性基板2aを用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部3aと、半遮光部3aにより囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部4aと、開口部4aの周辺に位置するリング状の位相シフター5aとを備えている。

【0106】

図8(b)に示す輪郭強調マスク1bは透過性基板2bを用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部3bと、半遮光部3bにより囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部4bと、開口部4bの各辺と同一長さを有し且つ該各辺と接する矩形状の4つの位相シフター部からなる位相シフター5bとを備えている。この輪郭強調マスク1bは、孤立パターン形成において輪郭強調マスク1aとほとんど同じ特性を有している。

【0107】

図8(c)に示す輪郭強調マスク1cは透過性基板2cを用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部3cと、半遮光部3cにより囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部4cと、開口部4cの各辺の長さよりも短い長さを有し且つ該各辺と接する矩形状の4つの位相シフター部からなる位相シフター5cとを備えている。位相シフター5cの各位相シフター部の中央と開口部4cの各辺の中央とは位置合わせされている。この輪郭強調マスク1cにおいては、開口部4cの幅(大きさ)を固定して位相シフター5cの各位相シフター部の長さを変更することによって、露光後に形成されるレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。例えば、位相シフター5cの各位相シフター部の長さを短くするほど、レジストパターンの寸法は大きくなる。ここで、輪郭強調の作用を保つために位相シフター5cの各位相シフター部の長さを変更できる下限は、光源(露光光)波長の半分程度までに限定される一方、マスク寸法の変更量の半分程度しかパターン寸法が変化しないので、位相シフター部の長さを調整することは、パターン寸法調整方法として非常に優れた方法となる。

【0108】

図8(d)に示す輪郭強調マスク1dは透過性基板2dを用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部3dと、半遮光部3dにより囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部4dと、半遮光部3dと開口部4dとの境界から所定の寸法だけ半遮光部3d側に入った所に位置するリング状の位相シフター5dとを備えている。すなわち、位相シフター5dと開口部4dの間にはリング状の半遮光部3dが介在している。

【0109】

図8(e)に示す輪郭強調マスク1eは透過性基板2eを用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部3eと、半遮光部3eにより囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部4eと、半遮光部3eと開口部4eとの境界から所定の寸法だけ半遮光部3e側に入った所に位置する位相シフター5eとを備えている。位相シフター5eは、開口部4eの各辺の長さよりも長い矩形状をそれぞれ有し且つ開口部4eの対角線上で互いの角部が接する4つの位相シフター部からなる。ここで、位相シフター5eと開口部4eの間には、リング状の半遮光部3eが介在している。輪郭強調マスク1eにおいては、位相シフター5eの大きさ及び配置を固定して開口部4eの幅(大きさ)のみを変更することによって、露光後に形成されるレジストパターンの寸法調

整を行なうことができる。例えば、開口部 4 e の幅を大きくするに従ってレジストパターンの寸法も大きくなる。この開口部の幅のみを変更するパターン寸法調整方法によれば、開口部及び位相シフターの両方を同時にスケーリングしてパターン寸法の調整を行なう方法と比べて、MEEF (Mask Error Enhancement Factor : マスク寸法変化量に対するパターン寸法変化量の比) を半分程度まで低減することができる。

【0110】

図 8 (f) に示す輪郭強調マスク 1 f は透過性基板 2 f を用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部 3 f と、半遮光部 3 f により囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 f と、半遮光部 3 f と開口部 4 f との境界から所定の寸法だけ半遮光部 3 f 側に入った所に位置する位相シフター 5 f とを備えている。位相シフター 5 f は、開口部 4 f の各辺の長さと同じ長さの矩形状をそれぞれ有し且つ開口部 4 f の各辺と対向する 4 つの位相シフター部からなる。ここで、位相シフター 5 f の各位相シフター部の長さは、開口部 4 f の各辺の長さよりも長くても短くても良い。輪郭強調マスク 1 f によれば、図 8 (c) に示す輪郭強調マスク 1 c と同様にレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。

【0111】

尚、図 8 (d) ~ (f) に示す輪郭強調マスクにおいて、MEEF の低減効果を大きくするためには、開口部と位相シフターとの間の半遮光部の幅は、 λ/NA (λ は露光光の波長、 NA は開口数) の 5 分の 1 程度以下であることが望ましい。また、DOF の向上効果を得るためには、前述の半遮光部の幅は、位相シフターによる光の干渉効果を及ぼすことができる寸法、つまり λ/NA の 10 分の 1 程度以下であることが望ましい。また、図 8 (a) ~ (f) に示す輪郭強調マスクにおいて、開口部の形状として正方形を用いたが、例えば八角形のような多角形又は円形等であってもよい。また、位相シフターの形状も、連続したリング形状又は複数個の長方形に限られない。例えば、複数個の正方形の位相シフター部を並べることによって位相シフターを形成してもよい。

【0112】

また、ここまで、ポジ型レジストプロセスを前提として、輪郭強調マスクにおけるレジスト除去部と対応する部分を開口部と定義して全ての説明を行ってきた。しかし、十分に高い透過率を有する位相シフターを利用できる場合、以上の説明に用いてきた輪郭強調マスクにおいて、開口部と定義してきた部分を透過率の高い位相シフターに置き換え、位相シフターと定義してきた部分を開口部に置き換え、半遮光部と定義してきた部分を透過率の低い位相シフター (例えばハーフトーン位相シフトマスクの位相シフター) に置き換えても、各構成要素間の相対位相差の関係は同じなので、同様の効果を有する輪郭強調マスクを実現できる。

【0113】

(第 1 の実施形態)

以下、本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。尚、第 1 の実施形態に係るフォトマスクは、前述の輪郭強調法を実現するための縮小投影露光システムのフォトマスクである。

【0114】

図 9 (a) は、第 1 の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示している。

【0115】

ところで、露光機の縮小投影光学系の縮小倍率を M とすると、通常のフォトマスクにおいては、露光光源に対して完全遮光膜となるクロム等の材料を用いて、所望のパターン (一般にはウェハ上での設計値を持つ) の M 倍の大きさのパターンが、露光光源に対して高い透過率を有する材料からなる基板 (透過性基板) の上に描かれている。しかしながら、本明細書においては、特に断らない限り、簡単のため、フォトマスクについて説明する場合

にも、ウェハ上の寸法をM倍したマスク上の寸法は使わずに、ウェハ上の寸法を用いて説明する。また、本実施形態でパターン形成について説明する場合、特に断らない限り、ポジ型レジストプロセスを使用する場合を想定して説明する。すなわち、レジスト膜の感光部分が除去されるということを想定して説明する。一方、ネガ型レジストプロセスの使用を想定する場合、レジスト膜の感光部分がレジストパターンとなることを除いて、ポジ型レジストプロセスの使用を想定した説明と全く同じことになる。また、本実施形態においては、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透過率で表す。

【0116】

図9(b)は、第1の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、図9(a)に示す所望のパターンを形成するためのフォトマスクの平面図である。図9(b)に示すように、所望のパターンにおけるレジスト除去部に対応するように開口部(透光部)が設けられている。また、開口部を囲む遮光性のマスクパターンとして、露光光を完全に遮光する完全遮光部に代えて、レジスト膜を感光させない程度の低透過率(6~15%程度)を有し且つ開口部を基準として同位相で露光光を透過させる半遮光部を用いている。第1の実施形態においては、半遮光部の透過率を例えば7.5%に設定する。さらに、開口部の周辺には、開口部を基準として反対位相で露光光を透過させる位相シフター(周辺部)が設けられている。ここで、輪郭強調法の原理に従って、位相シフターを透過する光が、開口部及び半遮光部をそれぞれ透過する光を効果的に打ち消すことができるように、位相シフターの透過率を半遮光部の透過率よりも高い値、例えば20%に設定する。

【0117】

尚、第1の実施形態においては、位相シフターの配置方法として、例えば図8(b)に示すような、矩形状の開口部の各辺から所定の寸法以下の領域に該各辺と接するように位相シフターを配置する形式を採用している。

【0118】

図9(c)は、図9(b)におけるAA'線の断面図、つまり第1の実施形態に係るフォトマスクの断面図である。図9(c)に示すように、開口部(透光部)形成領域の透過性基板10の表面は露出している。また、位相シフター(周辺部)形成領域の透過性基板10上に、開口部を基準として露光光を180度(実際には $(150+360 \times n)$ 度以上で且つ $(210+360 \times n)$ 度以下(但しnは整数)の位相差(反対位相)で透過させる下層位相シフト膜11が形成されている。さらに、半遮光部形成領域の透過性基板10上に、下層位相シフト膜11と、開口部を基準として露光光を反対位相で透過させる上層位相シフト膜12とが順次積層されている。下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12としては、例えばZrSiO₂、CrAlO₂、TaSiO₂、MoSiO₂又はTiSiO₂等の酸化物膜を用いることができる。但し、下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12とは互いに異なる酸化物膜から構成されていることが好ましい。ここで、下層位相シフト膜11は、単体として20%の透過率を有する位相シフト膜である。それに対して、下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12とが積層された構造は、7.5%の透過率を有し且つ開口部(透過性基板10)との間で露光光に対して360度(実際には $(-30+360 \times n)$ 度以上で且つ $(30+360 \times n)$ 度以下(但しnは整数)の位相差(同位相)を生じる半遮光膜として機能する。言い換えると、下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12との積層構造は、位相反転が発生しないハーフトーン膜として機能する。また、半遮光部と開口部との間には、下層位相シフト膜11の単層構造からなる周辺部つまり位相シフターが形成される。以上のように、本実施形態のフォトマスクは輪郭強調マスクとして機能する。但し、前述のように、輪郭強調法によるコントラスト強調を得るためには、位相シフター幅を所定の寸法以下に制限する必要がある。

【0119】

ところで、以上の説明においては、図10(a)に示すように、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12のそれぞれが単層膜であることを前提としてきた。この場合、各位相シフト膜の光学定数は膜材料によって決まるので、各位相シフト膜の膜厚は位相シフ

ト量によって決まってしまう。一方、透過率は光学定数のみならず膜厚にも依存するので、位相シフト膜の材料として、適切な光学定数を持つ材料、具体的には、開口部を基準として反対位相で露光光を透過させる膜厚において所定の透過率をちょうど実現できる材料が必ずしも存在するとは限らない。従って、第1の実施形態において、図10(b)に示すように、下層位相シフト膜11が第1の透過率調整膜11Aと第1の透過率調整膜11A上に形成された第1の位相調整膜11Bとを有し、且つ上層位相シフト膜12が第2の透過率調整膜12Aと第2の透過率調整膜12A上に形成された第2の位相調整膜12Bとを有する方が、各位相シフト膜において任意の透過率を実現する上では好ましい。ここで、第1の透過率調整膜11A及び第2の透過率調整膜12Aは、開口部を基準として露光光を同位相で透過させると共に露光光に対して相対的に低い透過率を有する。一方、第1の位相調整膜11B及び第2の位相調整膜12Bは、開口部を基準として露光光を反対位相で透過させると共に露光光に対して相対的に高い透過率を有する。第1の透過率調整膜11A及び第2の透過率調整膜12Aとしては、例えばZr、Cr、Ta、Mo若しくはTi等の金属からなる薄膜（厚さ30nm以下）又は例えばTa-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金若しくはTi-Si合金等の金属合金からなる薄膜（厚さ30nm以下）を用いることができる。第1の位相調整膜11B及び第2の位相調整膜12Bとしては、例えばSiO₂膜等の酸化膜を用いることができる。

【0120】

尚、図10(b)において、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12の両方が2層構造を有する場合を例として示しているが、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12のうちの一方が2層構造であり、他方が単層構造であってもよい。

【0121】

また、本明細書において、透過率調整膜とは、露光光に対する単位厚さ当たりの透過率が相対的に低く、且つ露光光に対する位相変化に影響を与えることなく厚さの調節により露光光に対する透過率を所望値に設定できる膜を意味する。また、位相調整膜とは、露光光に対する単位厚さ当たりの透過率が相対的に高く、且つ露光光に対する透過率変化に影響を与えることなく厚さの調節により透過性基板（開口部）との間での露光光に対する位相差を所望値に設定できる膜を意味する。

【0122】

次に、第1の実施形態に係るフォトリソマスクを用いたパターン形成方法について説明する。ここで、露光機を用いてマスクパターンの縮小転写を行なうときに、輪郭強調法の原理において説明したように、輪郭強調マスクによってコントラストの高い像を形成するために斜入射露光光源を用いるのがよい。ここで、斜入射露光光源とは、図11(a)に示すような通常露光光源に対して、垂直入射成分が取り除かれた、図11(b)～(d)に示すような光源のことを意味する。代表的な斜入射露光光源としては、図11(b)に示す輪帯露光光源、及び図11(c)に示す四重極露光光源がある。目的のパターンに若干依存するが、一般に、輪帯露光光源よりも四重極露光光源の方がコントラストの強調又はDOFの拡大において効果的である。しかし、四重極露光においてはパターン形状がマスク形状に対して歪むなどの副作用もあるので、そのような場合には、図11(d)に示す輪帯-四重極混成型露光光源を用いることが望ましい。この輪帯-四重極混成型露光光源の特徴は、光源中心（通常露光光源の中心）を原点としてXY座標で考えたときに、光源中心とXY軸上の光源とが取り除かれていることによって四重極の特徴を有する点と、光源の外形として円形が採用されていることにより輪帯の特徴をも有する点とである。

【0123】

図12(a)～(d)は第1の実施形態に係るフォトリソマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【0124】

まず、図12(a)に示すように、基板100上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜101を形成した後、図12(b)に示すように、被加工膜101の上に、ポジ型のレジスト膜102を形成する。

【0125】

次に、図12(c)に示すように、下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12との積層構造よりなる半遮光部と、下層位相シフト膜11の単層構造よりなる位相シフターとを備えた、第1の実施形態に係るフォトマスクに対して、斜入射露光光源を用いて露光光103を照射し、該フォトマスクを透過した透過光104によってレジスト膜102を露光する。このとき、マスクパターンとして低透過率の半遮光部を用いているため、レジスト膜102の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図12(c)に示すように、現像工程でレジスト膜102が溶解するに足る露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜102におけるフォトマスクの透光部（開口部）と対応する潜像部分102aのみである。

10

【0126】

次に、レジスト膜102に対して現像を行なって潜像部分102aを除去することにより、図12(d)に示すように、レジストパターン105を形成する。このとき、図12(c)に示す露光工程において、開口部周辺の光が打ち消される結果、レジスト膜102における位相シフター（周辺部）と対応する部分にはほとんど露光エネルギーが照射されないため、開口部を透過する光と周辺部を透過する光との間の光強度分布のコントラスト、言い換えると、潜像部分102aに照射される光と潜像部分102aの周辺に照射される光との間の光強度分布のコントラストを強調できる。従って、潜像部分102aにおけるエネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン105が形成される。

20

【0127】

次に、第1の実施形態に係るフォトマスクの作成方法について図面を参照しながら説明する。

【0128】

図13(a)～(e)は第1の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図13(f)は図13(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図13(g)は図13(e)の断面図と対応する平面図を示している。

【0129】

まず、図13(a)に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板10の上に、例えばTaSiOからなる下層位相シフト膜11及び例えばMoSiOからなる上層位相シフト膜12を順次形成する。下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12としてはそれぞれ、例えばZrSiO、CrAlO、TaSiO、MoSiO又はTiSiO等からなる酸化物膜を用いることができる。但し、上層位相シフト膜12を、下層位相シフト膜11に対して選択的に除去できるように、下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12とは互いに異なる酸化物膜から構成されていることが好ましい。また、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12はそれぞれ、透過性基板10の透光部（開口部）との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数）の位相差（反対位相）を生じる。ここで、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12のうちの少なくとも一方が、前述のような透過率調整膜と位相調整膜との2層構造を有していてもよい。

40

【0130】

次に、図13(b)に示すように、透過性基板10の上に、半遮光部形成領域を覆う第1のレジストパターン13、つまり、開口部（透光部）形成領域及び位相シフター（周辺部）形成領域のそれぞれに除去部を有する第1のレジストパターン13を形成する。その後、第1のレジストパターン13をマスクとして、上層位相シフト膜12に対してエッチングを行なって上層位相シフト膜12をパターン化した後、第1のレジストパターン13を除去する。これにより、図13(c)及び図13(f)に示すように、上層位相シフト膜12における開口部形成領域及び位相シフター形成領域のそれぞれと対応する部分が除去される。

50

【0131】

次に、図13(d)に示すように、透過性基板10の上に、半遮光部形成領域及び位相シフター形成領域を覆う第2のレジストパターン14、つまり開口部形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン14を形成する。その後、第2のレジストパターン14をマスクとして、下層位相シフト膜11に対してエッチングを行なって下層位相シフト膜11をパターン化した後、第2のレジストパターン14を除去する。これにより、図13(e)及び図13(g)に示すように、下層位相シフト膜11における開口部形成領域と対応する部分が除去されて、第1の実施形態に係るフォトマスクが完成する。すなわち、輪郭強調マスクの平面構造を有する第1の実施形態に係るフォトマスクは、マスクブランクとして、ハーフトーン位相シフト膜を2層堆積させた透過性基板を用意し、その後、上層及び下層の位相シフト膜に対して順次選択的にエッチングを行なうことによって容易に形成できる。 10

【0132】

以上に説明したように、第1の実施形態によると、それぞれ露光光を位相反転させて透過させる下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12を透過性基板10上に順次形成した後、開口部（透光部）形成領域及び位相シフター（周辺部）形成領域の上層位相シフト膜12を除去し、その後、開口部形成領域の下層位相シフト膜11を除去する。すなわち、開口部は透過性基板10の露出部分からなり、半遮光部は下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12の積層構造からなり、位相シフターは下層位相シフト膜11の単層構造からなる。ここで、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12の積層構造は開口部を基準として露光光を同位相で透過させる。このため、開口部と、開口部と同位相で露光光を透過させる半遮光部とによって、開口部と反対位相で露光光を透過させる位相シフターを挟むことができる。従って、開口部を透過する光と位相シフターを透過する光との相互干渉により、開口部と位相シフターとの間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。 20

【0133】

また、第1の実施形態によると、透過性基板10上に積層された下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうことによって、半遮光部と位相シフター（周辺部）とを有する任意形状のマスクパターンの作成を容易に行なえる。 30

【0134】

また、第1の実施形態によると、半遮光部を構成する、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12の積層構造のうちの、上層位相シフト膜12を加工することによって任意の形状の位相シフターを形成できる。このため、輪郭強調マスクのパターンレイアウトとして、図9(b)及び(c)に示すタイプ、つまり図8(b)に示すタイプに限られず、例えば図8(a)～(f)に示すタイプのいずれをも実現することが可能である。

【0135】

また、第1の実施形態によると、下層位相シフト膜11の単層構造によって位相シフターの透過率を規定できると共に下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12との積層構造によって半遮光部の透過率を規定できるので、位相シフター及び半遮光部のそれぞれの透過率の組み合わせを任意に設定することができる。 40

【0136】

尚、第1の実施形態において、フォトマスクの半遮光部（下層位相シフト膜11と上層位相シフト膜12との積層構造）の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本実施形態によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0137】

また、第1の実施形態において、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行な 50

ったが、言うまでもなくポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いてもよい。ここで、いずれのプロセスを用いる場合にも、露光光源として、例えば、i線（波長365nm）、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）又はF₂エキシマレーザ光（波長157nm）等が利用できる。

【0138】

（第1の実施形態の第1変形例）

以下、本発明の第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスク及びその作成方法について、図面を参照しながら説明する。

10

【0139】

第1の実施形態の第1変形例が第1の実施形態と異なっている点は次の通りである。すなわち、第1の実施形態においては、例えば図8（a）～（c）に示されるような、位相シフター（周辺部）と開口部（透光部）とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、第1の実施形態の第1変形例においては、例えば図8（d）～（f）に示されるような、位相シフターと開口部とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象とする。

【0140】

図14（a）～（e）は第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図14（f）は図14（c）の断面図と対応する平面図を示しており、図14（g）は図14（e）の断面図と対応する平面図を示している。

20

【0141】

まず、図14（a）に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板10の上に、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12を順次形成する。下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12はそれぞれ、透過性基板10の透光部（開口部）との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数）の位相差（反対位相）を生じる。ここで、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12のうちの少なくとも一方が、透過率調整膜と位相調整膜との2層構造を有していてもよい（第1の実施形態参照）。

【0142】

次に、図14（b）に示すように、透過性基板10の上に、半遮光部形成領域を覆う第1のレジストパターン13、つまり、開口部（透光部）形成領域及び位相シフター（周辺部）形成領域のそれぞれに除去部を有する第1のレジストパターン13を形成する。ここで、本変形例においては、開口部形成領域と位相シフター形成領域とが離間している。言い換えると、開口部形成領域と位相シフター形成領域との間に第1のレジストパターン13が介在する。その後、第1のレジストパターン13をマスクとして、上層位相シフト膜12に対してエッチングを行なって上層位相シフト膜12をパターン化した後、第1のレジストパターン13を除去する。これにより、図14（c）及び図14（f）に示すように、上層位相シフト膜12における開口部形成領域及び位相シフター形成領域のそれぞれと対応する部分が除去される。

30

【0143】

次に、図14（d）に示すように、透過性基板10の上に、位相シフター形成領域を含む半遮光部形成領域を覆い且つ開口部形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン14を形成する。その後、第2のレジストパターン14、及びパターン化された上層位相シフト膜12をマスクとして、下層位相シフト膜11に対してエッチングを行なって下層位相シフト膜11をパターン化した後、第2のレジストパターン14を除去する。これにより、図14（e）及び図14（g）に示すように、下層位相シフト膜11における開口部形成領域と対応する部分が除去されて、第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクが完成する。

40

【0144】

第1の実施形態の第1変形例によると、第1の実施形態の効果に加えて次のような効果が得られる。すなわち、パターン化された上層位相シフト膜12をマスクとして、下層位相

50

シフト膜 11 に対して自己整合的にエッチングを行なうことができるので、フォトマスク加工を正確に行なえる。

【0145】

(第1の実施形態の第2変形例)

以下、本発明の第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスク及びその作成方法について、図面を参照しながら説明する。

【0146】

第1の実施形態の第2変形例が第1の実施形態と異なっている点は次の通りである。すなわち、第1の実施形態においては、例えば図8(a)～(c)に示されるような、位相シフター(周辺部)と開口部(透光部)とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、第1の実施形態の第2変形例においては、第1の実施形態の第1変形例と同様に、例えば図8(d)～(f)に示されるような、位相シフターと開口部とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象とする。

【0147】

図15(a)～(e)は第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図15(f)は図15(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図15(g)は図15(e)の断面図と対応する平面図を示している。

【0148】

まず、図15(a)に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板10の上に、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12を順次形成する。下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12はそれぞれ、透過性基板10の透光部(開口部)との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数)の位相差(反対位相)を生じる。ここで、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12のうちの少なくとも一方が、透過率調整膜と位相調整膜との2層構造を有していてもよい(第1の実施形態参照)。

【0149】

次に、図15(b)に示すように、透過性基板10の上に、半遮光部形成領域及び開口部(透光部)形成領域を覆う第1のレジストパターン13、つまり、位相シフター(周辺部)形成領域に除去部を有する第1のレジストパターン13を形成する。その後、第1のレジストパターン13をマスクとして、上層位相シフト膜12に対してエッチングを行なって上層位相シフト膜12をパターン化した後、第1のレジストパターン13を除去する。これにより、図15(c)及び図15(f)に示すように、上層位相シフト膜12における位相シフター形成領域と対応する部分が除去される。

【0150】

次に、図15(d)に示すように、透過性基板10の上に、半遮光部形成領域及び位相シフター形成領域を覆う第2のレジストパターン14、つまり、開口部形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン14を形成する。その後、第2のレジストパターン14をマスクとして、上層位相シフト膜12及び下層位相シフト膜11に対して順次エッチングを行なって各位相シフト膜をパターン化した後、第2のレジストパターン14を除去する。これにより、図15(e)及び図15(g)に示すように、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12のそれぞれにおける開口部形成領域と対応する部分が除去されて、第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクが完成する。

【0151】

第1の実施形態の第2変形例によると、第1の実施形態の効果に加えて次のような効果が得られる。すなわち、本変形例においては、上層位相シフト膜12における位相シフター形成領域と対応する部分を除去する工程(図15(c)参照)と、上層位相シフト膜12における開口部形成領域と対応する部分を除去する工程(図15(e)参照)とを別々に行なう。このため、開口部と位相シフターとが微小幅で離間している場合、言い換えると、開口部と位相シフターとの間に、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12の積層構造よりなる微小幅の半遮光部を介在させる場合、フォトマスク加工の-marginが大きい。

くなる。

【0152】

尚、第1の実施形態の第2変形例において、上層位相シフト膜12における位相シフター形成領域と対応する部分を除去する工程を行なう前に、下層位相シフト膜11及び上層位相シフト膜12のそれぞれにおける開口部形成領域と対応する部分を除去する工程を行なってもよい。

【0153】

(第2の実施形態)

以下、本発明の第2の実施形態に係るフォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。尚、第2の実施形態に係るフォトマスクは、輪郭強調法を実現するための縮小投影露光システムのフォトマスクである。

【0154】

図16(a)は、第2の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示している。尚、本実施形態においても、第1の実施形態と同様に、以下、ポジ型レジストプロセスを使用する場合を想定して説明する。また、本実施形態においては、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透過率で表す。

【0155】

図16(b)は、第2の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、図16(a)に示す所望のパターンを形成するためのフォトマスクの平面図である。図16(b)に示すように、所望のパターンにおけるレジスト除去部に対応するように開口部(透光部)が設けられている。また、開口部を囲む遮光性のマスクパターンとして、露光光を完全に遮光する完全遮光部に代えて、レジスト膜を感光させない程度の低透過率(6~15%程度)を有し且つ開口部を基準として同位相で露光光を透過させる半遮光部を用いている。さらに、開口部の周辺には、開口部を基準として反対位相で露光光を透過させる位相シフター(周辺部)が設けられている。ここで、輪郭強調法の原理に従って、位相シフターを透過する光が、開口部及び半遮光部をそれぞれ透過する光を効果的に打ち消すことができるように、位相シフターの透過率を半遮光部の透過率よりも高い値に設定する。

【0156】

尚、第2の実施形態においては、位相シフターの配置方法として、例えば図8(b)に示すような、矩形状の開口部の各辺から所定の寸法以下の領域に該各辺と接するように位相シフターを配置する形式を採用している。

【0157】

図16(c)は、図16(b)におけるAA'線の断面図、つまり第2の実施形態に係るフォトマスクの断面図である。図16(c)に示すように、開口部(透光部)形成領域の透過性基板20の表面は露出している。また、位相シフター(周辺部)形成領域の透過性基板20上に下層位相調整膜21が形成されている。さらに、半遮光部形成領域の透過性基板20上に、下層位相調整膜21と透過率調整膜22と上層位相調整膜23とが順次積層されている。下層位相調整膜21及び上層位相調整膜23はそれぞれ、開口部を基準として露光光を180度(実際には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))の位相差(反対位相)で透過させる位相シフト膜となる。透過率調整膜22は、露光光に対して下層位相調整膜21及び上層位相調整膜23よりも低い透過率を有する。下層位相調整膜21及び上層位相調整膜23としては、例えばSiO₂膜等の酸化膜を用いることができる。透過率調整膜22としては、例えばZr、Cr、Ta、Mo若しくはTi等の金属からなる薄膜(厚さ30nm以下)又は例えばTa-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金若しくはTi-Si合金等の金属合金からなる薄膜(厚さ30nm以下)を用いることができる。また、下層位相調整膜21は、単体として非常に高い透過率を有し、且つ開口部(透過性基板20)を基準として反対位相で露光光を透過させる位相シフト膜である。また、透過率調整膜22の透過率は、下層

位相調整膜 2 1、透過率調整膜 2 2 及び上層位相調整膜 2 3 の積層構造が露光光に対して所定の透過率（レジスト膜を感光させない程度の低透過率）を持つように設定されている。また、下層位相調整膜 2 1、透過率調整膜 2 2 及び上層位相調整膜 2 3 の積層構造は、開口部（透過性基板 2 0）を基準として同位相（具体的には位相差が $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数））で露光光を透過させる。すなわち、下層位相調整膜 2 1、透過率調整膜 2 2 及び上層位相調整膜 2 3 の積層構造によって、開口部を基準として同位相で露光光を透過させ且つ露光光に対して所定の透過率を持つ半遮光部が構成される。このように、半遮光部と開口部との間に下層位相調整膜 2 1 の単層構造からなる周辺部つまり位相シフターが形成され、それにより輪郭強調マスクが実現されている。但し、輪郭強調法によるコントラスト強調を得るためには、位相シフター幅を所定の寸法以下に制限する必要がある。

【0158】

このような第 2 の実施形態に係るフォトマスクの作成方法は次の通りである。すなわち、露光光に対して透過性を持つ材料（例えば石英等）よりなる透過性基板 2 0 の上に、下層位相調整膜 2 1、透過率調整膜 2 2 及び上層位相調整膜 2 3 を順次形成した後、上層位相調整膜 2 3、透過率調整膜 2 2 及び下層位相調整膜 2 1 に対して順次選択的にエッチングを行なう。具体的には、下層位相調整膜 2 1 を下層位相シフト膜とみなし、透過率調整膜 2 2 及び上層位相調整膜 2 3 を上層位相シフト膜とみなせば、第 2 の実施形態に係るフォトマスクの作成方法においても、例えば図 1 3 ～ 図 1 5 に示す第 1 の実施形態に係るフォトマスクの作成方法をそのまま利用することができる。

【0159】

次に、第 2 の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法について説明する。ここで、露光機を用いてマスクパターンの縮小転写を行なうときに、輪郭強調法の原理において説明したように、輪郭強調マスクによってコントラストの高い像を形成するために、例えば図 1 1 (b) ～ (d) に示すような斜入射露光光源を用いるのがよい。

【0160】

図 1 7 (a) ～ (d) は第 2 の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【0161】

まず、図 1 7 (a) に示すように、基板 2 0 0 上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜 2 0 1 を形成した後、図 1 7 (b) に示すように、被加工膜 2 0 1 の上に、ポジ型のレジスト膜 2 0 2 を形成する。

【0162】

次に、図 1 7 (c) に示すように、下層位相調整膜 2 1 と透過率調整膜 2 2 と上層位相調整膜 2 3 との積層構造よりなる半遮光部と、下層位相調整膜 2 1 の単層構造よりなる位相シフターとを備えた、第 2 の実施形態に係るフォトマスクに対して、斜入射露光光源を用いて露光光 2 0 3 を照射し、該フォトマスクを透過した透過光 2 0 4 によってレジスト膜 2 0 2 を露光する。このとき、マスクパターンとして低透過率の半遮光部を用いているため、レジスト膜 2 0 2 の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図 1 7 (c) に示すように、現像工程でレジスト膜 2 0 2 が溶解するに足りる露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜 2 0 2 におけるフォトマスクの透光部（開口部）と対応する潜像部分 2 0 2 a のみである。

【0163】

次に、レジスト膜 2 0 2 に対して現像を行なって潜像部分 2 0 2 a を除去することにより、図 1 7 (d) に示すように、レジストパターン 2 0 5 を形成する。このとき、図 1 7 (c) に示す露光工程において、開口部周辺の光が打ち消される結果、レジスト膜 2 0 2 における位相シフター（周辺部）と対応する部分にはほとんど露光エネルギーが照射されないため、開口部を透過する光と周辺部を透過する光との間の光強度分布のコントラスト、言い換えると、潜像部分 2 0 2 a に照射される光と潜像部分 2 0 2 a の周辺に照射される光との間の光強度分布のコントラストを強調できる。従って、潜像部分 2 0 2 a における

エネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン 205 が形成される。

【0164】

以上に説明したように、第2の実施形態によると、透過性基板20の露出部分からなる開口部（透光部）と、下層位相調整膜21、透過率調整膜22及び上層位相調整膜23の積層構造からなる半遮光部とによって、下層位相調整膜21の単層構造よりなる位相シフター（周辺部）が挟まれる。ここで、下層位相調整膜21、透過率調整膜22及び上層位相調整膜23の積層構造は開口部を基準として露光光を同位相で透過させる一方、下層位相調整膜21の単層構造は開口部を基準として露光光を反対位相で透過させる。従って、開口部を透過する光と位相シフターを透過する光との相互干渉により、開口部と位相シフターとの間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

10

【0165】

また、第2の実施形態によると、透過性基板20上に積層された下層位相調整膜21、透過率調整膜22及び上層位相調整膜23に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうことによって、半遮光部と位相シフター（周辺部）とを有する任意形状のマスクパターンの作成を容易に行なえる。

20

【0166】

また、第2の実施形態によると、半遮光部を構成する、下層位相調整膜21、透過率調整膜22及び上層位相調整膜23の積層構造のうちの、透過率調整膜22及び上層位相調整膜23を加工することによって任意の形状の位相シフターを形成できる。このため、輪郭強調マスクのパターンレイアウトとして、図16（b）及び（c）に示すタイプ、つまり図8（b）に示すタイプに限られず、例えば図8（a）～（f）に示すタイプのいずれをも実現することが可能である。

【0167】

また、第2の実施形態によると、下層位相調整膜21と上層位相調整膜23との間に、各位相調整膜よりも透過率が低い透過率調整膜22を設けることによって、半遮光部が形成されている。このため、該半遮光部と、下層位相調整膜21の単層構造よりなる位相シフター（周辺部）との間の透過率の差を大きくすることができるので、開口部（透光部）と周辺部との間の光強度分布のコントラストをより強調できる。

30

【0168】

尚、第2の実施形態において、フォトリソの半遮光部の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本実施形態によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0169】

また、第2の実施形態において、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行なったが、言うまでもなくポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いてもよい。ここで、いずれのプロセスを用いる場合にも、露光光源として、例えば、i線（波長365nm）、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）又はF₂エキシマレーザ光（波長157nm）等が利用できる。

40

【0170】

また、第2の実施形態において、例えば図16（c）に示すように、半遮光部として、下層位相調整膜21と透過率調整膜22と上層位相調整膜23との積層構造を用いた。しかし、これに代えて、例えば図18（a）に示すように、半遮光部として、下層となる位相調整膜21と上層となる透過率調整膜22との2層構造を用いても、同様の効果を有する

50

フォトマスクを実現できる。具体的には、図18(a)に示す構造において、位相調整膜21と、半遮光部形成領域の位相調整膜21の上のみに形成された透過率調整膜22とは、開口部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光膜を構成する。また、透過率調整膜22は露光光に対して相対的に低い透過率を有する一方、位相調整膜21は露光光に対して相対的に高い透過率を有する。これにより、位相調整膜21と透過率調整膜22とからなる半遮光膜は、露光光を部分的に透過させる透過率を有する。尚、透過率調整膜22は開口部を基準として露光光を同位相で透過させると共に、半遮光部形成領域の位相調整膜21も開口部を基準として露光光を同位相で透過させる。それに対して、位相シフター（周辺部）形成領域の位相調整膜21は、開口部を基準として露光光が反対位相で透過する厚さを持つように薄膜化されている。図16(c)に示す構造と図18(a)に示す構造とを比較した場合、図16(c)に示す構造は、マスク加工において上層位相調整膜23のエッチングを行なう際に透過率調整膜22をエッチングストッパーとして利用できるという点で、図18(a)に示す構造よりも優れている。一方、図18(a)に示す構造は、単層膜として形成された位相調整膜21の厚さをエッチングにより変化させて位相シフターを形成できるという点で、言い換えると、フォトマスク構造の単純さの点で、図16(c)に示す構造よりも優れている。また、図18(a)に示す構造によると、位相調整膜21と透過率調整膜22とからなる半遮光膜において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜22の材料と位相調整膜21の材料との組み合わせによって、該半遮光膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0171】

また、第2の実施形態において、例えば図16(c)に示すように、位相シフター形成領域の下層位相調整膜21の上には透過率調整膜22が形成されていなかった。しかし、これに代えて、例えば図18(b)に示すように、位相シフター形成領域の下層位相調整膜21の上にも透過率調整膜22が形成されていてもよい。言い換えると、下層位相調整膜21の単層構造よりなる位相シフターに代えて、下層位相調整膜21及び透過率調整膜22の積層構造よりなる位相シフターを用いてもよい。このとき、位相シフターの透過率と半遮光部の透過率とは同程度になる。図16(c)に示す構造と図18(b)に示す構造とを比較した場合、図16(c)に示す構造は、半遮光部よりも位相シフターにおいて高い透過率を実現できるという点で、つまり、輪郭強調法によるコントラスト向上効果の点で、図18(b)に示す構造よりも優れている。一方、図18(b)に示す構造は、位相シフターの透過率が低い分だけ位相シフターの寸法を大きくできるという点で、つまり、マスク加工の容易さの点で、図16(c)に示す構造よりも優れている。

【0172】

さらに、図18(b)に示す構造に代えて、例えば図18(c)に示すように、半遮光部及び位相シフターとして、下層となる透過率調整膜22と上層となる位相調整膜23との2層構造を用いても、同様の効果を有するフォトマスクを実現できる。具体的には、図18(c)に示す構造において、透過率調整膜22と、半遮光部形成領域の位相調整膜23とは、開口部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光膜を構成する。また、透過率調整膜22は露光光に対して相対的に低い透過率を有する一方、位相調整膜23は露光光に対して相対的に高い透過率を有する。これにより、透過率調整膜22と位相調整膜23とからなる半遮光膜は、露光光を部分的に透過させる透過率を有する。尚、透過率調整膜22は開口部を基準として露光光を同位相で透過させると共に、半遮光部形成領域の位相調整膜23も開口部を基準として露光光を同位相で透過させる。それに対して、位相シフター（周辺部）形成領域の位相調整膜23は、開口部を基準として露光光が反対位相で透過する厚さを持つように薄膜化されている。図18(b)に示す構造と図18(c)に示す構造とを比較した場合、図18(c)に示す構造は、フォトマスク構造の単純さの点で優れている。また、位相調整膜23の材料として、石英等よりなる透過性基板20に対してエッチング選択比を高くしにくい材料が用いられる場合、図18(c)に示す構造は、位相調整膜23のエッチング時に透過率調整膜22を石英のエッチングを防止するため

のエッチングストッパーとして利用できるという点でも優れている。さらに、図18(c)に示す構造によると、位相調整膜23と透過率調整膜22とからなる半遮光膜において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜22の材料と位相調整膜23の材料との組み合わせによって、該半遮光膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0173】

ところで、第2の実施形態において、図16(c)に示す構造と図18(b)に示す構造との比較から分かるように、下層位相調整膜21と上層位相調整膜23との間に透過率調整膜22が介在する同じ積層構造であっても、透過率調整膜22の加工方法を変えるだけで異なる透過率の位相シフターを形成することができる。言い換えると、2層の位相調整膜で透過率調整膜を挟んだ構造を採用すると、同じフォトマスク上に、図16(c)に示す構造と図18(b)に示す構造の両方を実現できるので、パターン形状に応じて位相シフター(周辺部)の透過率を変化させることが可能となる。さらには、例えば図18(d)に示すように、位相シフター形成領域の下層位相調整膜21の上に透過率調整膜22が部分的に形成されている構造を採用した場合、位相シフターの実効的な透過率を、透過率調整膜22による位相シフターの被覆面積率(=(位相シフター形成領域の透過率調整膜22の面積)/(位相シフターの面積))によって細かく調整することができる。従って、同一のフォトマスク上においてパターン形状に応じて位相シフターの透過率を任意に変化させることが可能になる。

【0174】

(第3の実施形態)

以下、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。尚、第3の実施形態に係るフォトマスクは、輪郭強調法を実現するための縮小投影露光システムのフォトマスクである。

【0175】

図19(a)は、第3の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示している。尚、本実施形態においても、第1の実施形態と同様に、以下、ポジ型レジストプロセスを使用する場合を想定して説明する。また、本実施形態においては、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透

【0176】

図19(b)は、第3の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、図19(a)に示す所望のパターンを形成するためのフォトマスクの平面図である。図19(b)に示すように、所望のパターンにおけるレジスト除去部に対応するように開口部(透光部)が設けられている。また、開口部を囲む遮光性のマスクパターンとして、露光光を完全に遮光する完全遮光部に代えて、レジスト膜を感光させない程度の低透過率(6~15%程度)を有し且つ開口部を基準として同位相で露光光を透過させる半遮光部を用いている。さらに、開口部の周辺には、開口部を基準として反対位相で露光光を透過させる位相シフター(周辺部)が設けられている。ここで、輪郭強調法の原理に従って、位相シフターを透過する光が、開口部及び半遮光部をそれぞれ透過する光を効果的に打ち消すことができるように、位相シフターの透過率を半遮光部の透過率よりも高い値に設定する。

【0177】

尚、第3の実施形態においては、位相シフターの配置方法として、例えば図8(b)に示すような、矩形状の開口部の各辺から所定の寸法以下の領域に該各辺と接するように位相シフターを配置する形式を採用している。

【0178】

図19(c)は、図19(b)におけるAA'線の断面図、つまり第3の実施形態に係るフォトマスクの断面図である。図19(c)に示すように、開口部形成領域の透過性基板30の表面は露出している。また、半遮光部形成領域及び位相シフター形成領域の透過性

基板30上に、レジスト膜を感光させない程度の低透過率（6～15%程度）を有する半遮光膜（ハーフトーン膜）31が形成されている。ハーフトーン膜31としては、例えばZrSiO₂、CrAlO₂、TaSiO₂、MoSiO₂又はTiSiO₂等の酸化物膜を用いることができる。また、半遮光部形成領域のハーフトーン膜31は、透過性基板30（開口部）との間で露光光に対して360度（実際には $(-30+360 \times n)$ 度以上で且つ $(30+360 \times n)$ 度以下（但しnは整数））の位相差（同位相）を生じる厚さを持つ。一方、位相シフター形成領域のハーフトーン膜31は、開口部との間で露光光に対して $(150+360 \times n)$ 度以上で且つ $(210+360 \times n)$ 度以下（但しnは整数）の位相差（反対位相）を生じる厚さを持つように薄膜化されている。すなわち、ハーフトーン膜31は、その厚みを変えると、開口部を基準として反対位相で露光光を透過させる。

10

【0179】

以上のように、本実施形態のフォトマスクにおいては、ハーフトーン膜31の厚膜部分よりなる半遮光部と開口部（透光部）との間に、ハーフトーン膜31の薄膜部分よりなる周辺部つまり位相シフターが形成されており、それによって輪郭強調マスクの機能が実現されている。但し、この位相シフターにおいては、ハーフトーン膜31を薄膜化することによって位相反転が生じていると共に、ハーフトーン膜31の厚膜部分よりなる半遮光部と比べて露光光に対する透過率が增大している。また、輪郭強調法によるコントラスト強調を得るためには、位相シフター幅を所定の寸法以下に制限する必要がある。

【0180】

このような第3の実施形態に係るフォトマスクの作成方法は次の通りである。すなわち、露光光に対して透過性を持つ材料（例えば石英等）よりなる透過性基板30の上に、ハーフトーン膜31を形成した後、ハーフトーン膜31に対して選択的にエッチングを行なう。

20

【0181】

次に、第3の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法について説明する。ここで、露光機を用いてマスクパターンの縮小転写を行なうときに、輪郭強調法の原理において説明したように、輪郭強調マスクによってコントラストの高い像を形成するために、例えば図11（b）～（d）に示すような斜入射露光光源を用いるのがよい。

【0182】

図20（a）～（d）は第3の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

30

【0183】

まず、図20（a）に示すように、基板300上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜301を形成した後、図20（b）に示すように、被加工膜301の上に、ポジ型のレジスト膜302を形成する。

【0184】

次に、図20（c）に示すように、ハーフトーン膜31の厚膜部分よりなる半遮光部と、ハーフトーン膜31の薄膜部分よりなる位相シフターとを備えた、第3の実施形態に係るフォトマスクに対して、斜入射露光光源を用いて露光光303を照射し、該フォトマスクを透過した透過光304によってレジスト膜302を露光する。このとき、マスクパターンとして低透過率の半遮光部を用いているため、レジスト膜302の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図20（c）に示すように、現像工程でレジスト膜302が溶解するに足る露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜302におけるフォトマスクの透光部（開口部）と対応する潜像部分302aのみである。

40

【0185】

次に、レジスト膜302に対して現像を行なって潜像部分302aを除去することにより、図20（d）に示すように、レジストパターン305を形成する。このとき、図20（c）に示す露光工程において、開口部周辺の光が打ち消される結果、レジスト膜302における位相シフター（周辺部）と対応する部分にはほとんど露光エネルギーが照射されないため、開口部を透過する光と周辺部を透過する光との間の光強度分布のコントラスト、

50

言い換えると、潜像部分 302a に照射される光と潜像部分 302a の周辺に照射される光との間の光強度分布のコントラストを強調できる。従って、潜像部分 302a におけるエネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン 305 が形成される。

【0186】

以上に説明したように、第3の実施形態によると、透過性基板 30 の露出部分からなる開口部（透光部）と、ハーフトーン膜 31 の厚膜部分よりなる半遮光部とによって、ハーフトーン膜 31 の薄膜部分よりなる位相シフター（周辺部）が挟まれる。ここで、ハーフトーン膜 31 の厚膜部分は開口部を基準として露光光を同位相で透過させる一方、ハーフトーン膜 31 の薄膜部分は開口部を基準として露光光を反対位相で透過させる。従って、開口部を透過する光と位相シフターを透過する光との相互干渉により、開口部と位相シフターとの間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0187】

また、第3の実施形態によると、半遮光部がハーフトーン膜 31 の単層構造から構成されているため、マスク構造が非常に単純になる。また、ハーフトーン膜 31 を部分的に薄膜化するだけで、言い換えると、ハーフトーン膜 31 に凹部を設けるだけで位相シフター（周辺部）を簡単に形成できる。

【0188】

また、第3の実施形態によると、透過性基板 30 上に形成されたハーフトーン膜 31 に対して選択的にエッチングを行なうことによって、半遮光部と位相シフターとを有する任意形状のマスクパターンの作成を容易に行なえる。

【0189】

また、第3の実施形態によると、半遮光部となるハーフトーン膜 31 を加工することによって任意の形状の位相シフターを形成できるので、輪郭強調マスクのパターンレイアウトとして、図 19（b）及び（c）に示すタイプ、つまり図 8（b）に示すタイプに限られず、例えば図 8（a）～（f）に示すタイプのいずれをも実現することが可能である。

【0190】

尚、第3の実施形態において、フォトマスクの半遮光部の透過率は 6% 以上で且つ 15% 以下であることが好ましい。このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、前述のコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0191】

また、第3の実施形態において、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行なったが、言うまでもなくポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いてもよい。ここで、いずれのプロセスを用いる場合にも、露光光源として、例えば、i 線（波長 365 nm）、KrF エキシマレーザ光（波長 248 nm）、ArF エキシマレーザ光（波長 193 nm）又は F₂ エキシマレーザ光（波長 157 nm）等が利用できる。

【0192】

また、第3の実施形態において、ハーフトーン膜 31 の構造として、低透過率の透過率調整膜と高透過率の位相調整膜とが積層された 2 層構造を用いてもよい（図 18（a）及び（c）参照）。このようにすると、ハーフトーン膜 31 において所望の位相差と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、ハーフトーン膜 31 を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0193】

また、第3の実施形態において、例えば図 21（a）の平面図及びそれと対応する図 21

(b) の断面図に示すように、ハーフトーン膜 31 の薄膜部分からなる位相シフター（周辺部）を開口部（透光部）と接するように設けた。しかし、これに代えて、例えば図 21 (c) の平面図及びそれと対応する図 21 (d) の断面図に示すように、ハーフトーン膜 31 の薄膜化部分を開口部から所定の寸法だけ離して設けてもよい。言い換えると、位相シフターと開口部とを離間させ、両者の間にハーフトーン膜 31 の厚膜部分よりなる半遮光部を設けてもよい。このとき、図 21 (c) 及び (d) に示すように、ハーフトーン膜 31 を部分的に薄膜化するだけで、言い換えると、ハーフトーン膜 31 に凹部を設けるだけで位相シフターを形成できる。その結果、多層膜構成の半遮光部を用いる場合と比べて、位相シフターと開口部との間に微小幅の半遮光部を介在させたときにも、該微小幅の半遮光部を構成する膜の剥離を抑制できる。一方、位相シフターと開口部との間に、多層膜構成を有する微小幅の半遮光部を設けた場合、該半遮光部は、下層膜上に形成された上層膜の微小な孤立領域として存在するので、上層膜の加工時に該孤立領域が剥離しやすくなる。

【0194】

（第 4 の実施形態）

以下、本発明の第 4 の実施形態に係るフォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。尚、第 4 の実施形態に係るフォトマスクは、輪郭強調法を実現するための縮小投影露光システムのフォトマスクである。

【0195】

図 22 (a) は、第 4 の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示している。尚、本実施形態においても、第 1 の実施形態と同様に、以下、ポジ型レジストプロセスを使用する場合を想定して説明する。また、本実施形態においては、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を 100% としたときの実効透過率で表す。

【0196】

図 22 (b) は、第 4 の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、図 22 (a) に示す所望のパターンを形成するためのフォトマスクの平面図である。図 22 (b) に示すように、所望のパターンにおけるレジスト除去部に対応するように開口部（透光部）が設けられている。また、開口部を囲む遮光性のマスクパターンとして、露光光を完全に遮光する完全遮光部に代えて、レジスト膜を感光させない程度の低透過率（6～15%程度）を有し且つ開口部を基準として同位相で露光光を透過させる半遮光部を用いている。さらに、開口部の周辺には、開口部を基準として反対位相で露光光を透過させる位相シフター（周辺部）が設けられている。ここで、輪郭強調法の原理に従って、位相シフターを透過する光が、開口部及び半遮光部をそれぞれ透過する光を効果的に打ち消すことができるように、位相シフターの透過率を半遮光部の透過率よりも高い値に設定する。

【0197】

尚、第 4 の実施形態においては、位相シフターの配置方法として、例えば図 8 (b) に示すような、矩形状の開口部の各辺から所定の寸法以下の領域に該各辺と接するように位相シフターを配置する形式を採用している。

【0198】

図 22 (c) は、図 22 (b) における AA' 線の断面図、つまり第 4 の実施形態に係るフォトマスクの断面図である。図 22 (c) に示すように、開口部形成領域の透過性基板 40 の表面は露出している。また、半遮光部形成領域の透過性基板 40 上に、レジスト膜を感光させない程度の低透過率（6～15%程度）を有する半遮光膜（ハーフトーン膜）41 が形成されている。ハーフトーン膜 41 は、透過性基板 40（開口部）との間で露光光に対して 360 度（実際には $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差（同位相）を生じる。また、位相シフター形成領域の透過性基板 40 は、開口部との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差（反対位相）を生じる厚さを

持つように掘り下げられている。すなわち、位相シフター形成領域の透過性基板40には掘り下げ部40aが設けられている。

【0199】

尚、ハーフトーン膜41としては、例えばZr、Cr、Ta、Mo若しくはTi等の金属からなる薄膜（厚さ30nm以下）又は例えばTa-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金若しくはTi-Si合金等の金属合金からなる薄膜（厚さ30nm以下）を用いることができる。本実施形態においては、ハーフトーン膜41として、例えば、開口部との間での位相差が僅少値になるように薄膜化され、且つそれによりレジスト膜を感光させない程度の低透過率を持つに至った遮光膜（通常のフォトマスクの遮光膜として用いられるクロム膜等）の単層構造を用いる。

10

【0200】

このように、本実施形態のフォトマスクによると、ハーフトーン膜41よりなる半遮光部と開口部（透光部）との間に、透過性基板40の掘り下げ部40aよりなる位相シフター（周辺部）が形成されており、それにより輪郭強調マスクの機能が実現されている。但し、輪郭強調法によるコントラスト強調を得るためには、位相シフター幅を所定の寸法以下に制限する必要がある。

【0201】

次に、第4の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法について説明する。ここで、露光機を用いてマスクパターンの縮小転写を行なうときに、輪郭強調法の原理において説明したように、輪郭強調マスクによってコントラストの高い像を形成するために、例えば、図11(b)～(d)に示すような斜入射露光光源を用いるのがよい。

20

【0202】

図23(a)～(d)は第4の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【0203】

まず、図23(a)に示すように、基板400上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜401を形成した後、図23(b)に示すように、被加工膜401の上に、ポジ型のレジスト膜402を形成する。

【0204】

次に、図23(c)に示すように、ハーフトーン膜41よりなる半遮光部と、透過性基板40の掘り下げ部40aよりなる位相シフター（周辺部）とを備えた、第4の実施形態に係るフォトマスクに対して、斜入射露光光源を用いて露光光403を照射し、該フォトマスクを透過した透過光404によってレジスト膜402を露光する。このとき、マスクパターンとして低透過率の半遮光部を用いているため、レジスト膜402の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図23(c)に示すように、現像工程でレジスト膜402が溶解するに足る露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜402におけるフォトマスクの透光部（開口部）と対応する潜像部分402aのみである。

30

【0205】

次に、レジスト膜402に対して現像を行なって潜像部分402aを除去することにより、図23(d)に示すように、レジストパターン405を形成する。このとき、図23(c)に示す露光工程において、開口部周辺の光が打ち消される結果、レジスト膜402における位相シフター（周辺部）と対応する部分にはほとんど露光エネルギーが照射されない。言い換えると、潜像部分402aに照射される光と潜像部分402aの周辺に照射される光との間の光強度分布のコントラストを強調できる。従って、潜像部分402aにおけるエネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン405が形成される。

40

【0206】

次に、第4の実施形態に係るフォトマスクの作成方法について図面を参照しながら説明する。

50

【0207】

図24(a)～(e)は第4の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図24(f)は図24(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図24(g)は図24(e)の断面図と対応する平面図を示している。

【0208】

まず、図24(a)に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板40の上にハーフトーン膜41を形成する。ここで、ハーフトーン膜41としては、前述のように、薄膜化された単層遮光膜を用いる。

【0209】

次に、図24(b)に示すように、透過性基板40の上に、半遮光部形成領域及び開口部(透光部)形成領域のそれぞれを覆う第1のレジストパターン42、つまり、位相シフター(周辺部)形成領域に除去部を有する第1のレジストパターン42を形成する。その後、第1のレジストパターン42をマスクとして、ハーフトーン膜41及び透過性基板40のそれぞれに対してエッチングを行なった後、第1のレジストパターン42を除去する。これにより、図24(c)及び図24(f)に示すように、ハーフトーン膜41における位相シフター形成領域と対応する部分が除去される。また、位相シフター形成領域の透過性基板40が、開口部を基準として露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げられる。具体的には、透過性基板40における位相シフター形成領域と対応する部分に、180度(具体的には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))の位相反転を生じる掘り下げ部40aが形成される。

【0210】

次に、図24(d)に示すように、透過性基板40の上に、ハーフトーン膜41における半遮光部形成領域と対応する部分を覆う第2のレジストパターン43を形成する。その後、第2のレジストパターン43をマスクとして、ハーフトーン膜41に対してエッチングを行なった後、第2のレジストパターン43を除去する。これにより、図24(e)及び図24(g)に示すように、ハーフトーン膜41における開口部形成領域と対応する部分が除去されて、第4の実施形態に係るフォトマスクが完成する。すなわち、輪郭強調マスクの平面構造を有する第4の実施形態に係るフォトマスクは、マスクブランクとして、薄膜化された遮光膜を堆積させた透過性基板を用意し、その後、該遮光膜及び透過性基板に対して順次エッチングを行なうことによって容易に形成できる。

【0211】

以上に説明したように、第4の実施形態によると、透過性基板40の露出部分からなる開口部(透光部)と、ハーフトーン膜41よりなる半遮光部とによって、透過性基板40の掘り下げ部40aよりなる位相シフター(周辺部)が挟まれる。ここで、ハーフトーン膜41は開口部を基準として露光光を同位相で透過させる一方、掘り下げ部40aは開口部を基準として露光光を反対位相で透過させる。従って、開口部を透過する光と位相シフターを透過する光との相互干渉により、開口部と位相シフターとの間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部(つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン)を形成する場合にも得られる。すなわち、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0212】

また、第4の実施形態によると、半遮光部がハーフトーン膜41の単層構造から構成されているため、マスク構造が非常に単純になる。

【0213】

また、第4の実施形態によると、透過性基板40上にハーフトーン膜41を形成した後、ハーフトーン膜41及び透過性基板40に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうことによって、半遮光部と位相シフター(周辺部)とを有する任意形状のマスクパターンの作成を容易に行なえる。

【0214】

また、第4の実施形態によると、例えば図24(a)～(e)に示すフォトリソ形成方法を用いて、透過性基板40及びハーフトーン膜41の積層構造を加工することによって任意の形状の位相シフターを形成できるので、輪郭強調マスクのパターンレイアウトとして、図22(b)及び(c)に示すタイプ、つまり図8(b)に示すタイプに限られず、例えば図8(a)～(f)に示すタイプのいずれをも実現することが可能である。

【0215】

また、第4の実施形態によると、ハーフトーン膜41として、通常のフォトリソの遮光膜を薄膜化して用いているため、マスクブランクとして用意すべき基板の構造を単純にできる。すなわち、透過性基板上に単層薄膜が形成されたマスクブランクを用意して、単層薄膜及び透過性基板のそれぞれに対してエッチングを行なうだけで、フォトリソ加工を容易に行なえる。例えば、通常のハーフトーン位相シフトマスク用のマスクブランクとして、位相調整膜と透過率調整膜との2層構造が形成された透過性基板が用いられているが、本実施形態においては、ハーフトーン位相シフトマスク用のマスクブランクのうち位相調整膜が堆積されていないもの、言い換えると、透過率調整膜のみが透過性基板上に形成されたマスクブランクを用いてもよい。すなわち、ハーフトーン膜41として、薄膜化された遮光膜を用いることにより、マスクブランク製造において従来技術を利用できるという実用的なメリットが生じる。

【0216】

ここで、薄膜化された遮光膜をハーフトーン膜41つまり半遮光部として使用したことに起因する位相変化（開口部と半遮光部との間に生じる位相差）がパターン形成に及ぼす影響をシミュレーションにより検討した結果について、図25(a)～(c)を参照しながら説明する。シミュレーション条件は、露光光の波長 $\lambda = 0.193\mu\text{m}$ （ArF光源）、露光機の投影光学系の開口数 $NA = 0.6$ 、輪帯照明である。

【0217】

図25(a)は、シミュレーションに用いた輪郭強調マスクの平面図を示している。図25(a)に示すように、開口部及び位相シフターのそれぞれの幅は 200nm 及び 50nm であり、開口部、位相シフター及び半遮光部のそれぞれの透過率は 100% 、 100% 及び 7.5% である。また、位相シフターは、開口部との間で 180 度の位相差を生じ、半遮光部は、開口部との間で $0\sim 30$ 度の位相差を生じる。

【0218】

図25(b)は、半遮光部が開口部との間で 0 度、 10 度、 20 度及び 30 度の位相差を生じるような、図25(a)に示す輪郭強調マスクに対して露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布のシミュレーション結果を示している。図25(b)に示すように、半遮光部と開口部との間の位相差が 30 度程度までであれば、光強度分布におけるコントラストはほとんど影響を受けないことが分かる。

【0219】

図25(c)は、半遮光部が開口部との間で 0 度、 10 度、 20 度及び 30 度の位相差を生じるような、図25(a)に示す輪郭強調マスクに対して露光を行なった場合におけるパターン仕上がり寸法(CD: Critical Dimension)のフォーカス依存性のシミュレーション結果を示している。図25(c)に示すように、半遮光部と開口部との間の位相差が変化すると、CDがピークとなるベストフォーカス位置が変化する。しかし、前述の位相差が変化しても、フォーカス変動に対するCDの変化しにくさ、つまり焦点深度はほとんど変化していない。ところで、フォトリソ上の全ての部分に対応して、同様のベストフォーカス位置の変動が発生することは、パターン形成において全く問題を生じない。パターン形成で問題となるのは焦点深度の値のみである。すなわち、半遮光部と開口部との間の位相差が 30 度程度までであれば、フォーカス特性上、特に問題がないと言える。

【0220】

従って、本実施形態において、半遮光部となるハーフトーン膜41として、薄膜化された

遮光膜を用いた場合、厳密な意味での輪郭強調マスク（半遮光部と開口部との間の位相差が0度）を実現することはできないが、薄膜によって生じる位相差が30度程度以下であれば、輪郭強調法による効果が失われないことが分かる。具体的には、遮光膜の材料としてTa、Cr又はそれらを含む合金等を用いた場合、ArF光源に対して開口部との間で30度程度の位相差を発生する遮光膜の厚さは概算で30nm以上である。そして、この厚さは、10%程度以下の透過率を実現するために十分な厚さである。

【0221】

尚、第4の実施形態において、フォトマスクの半遮光部の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本実施形態によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。 10

【0222】

また、第4の実施形態において、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行なったが、言うまでもなくポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いてもよい。ここで、いずれのプロセスを用いる場合にも、露光光源として、例えば、i線（波長365nm）、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）又はF₂エキシマレーザ光（波長157nm）等が利用できる。

【0223】

また、第4の実施形態において、ハーフトーン膜41の構造として、低透過率の透過率調整膜と高透過率の位相調整膜とが積層された2層構造を用いてもよい。このようにすると、ハーフトーン膜41において所望の位相差（具体的には $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下の位相差）と所望の透過率との組み合わせを任意に選べると共に、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、ハーフトーン膜41を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。また、例えば、本実施形態でハーフトーン膜41として用いた、遮光膜の単層薄膜の上に、位相調整膜を堆積することによって、開口部と半遮光部との間の位相差を0度としてもよいことは言うまでもない。 20

【0224】

また、第4の実施形態において、例えば図22（b）の平面図及びそれと対応する図22（c）の断面図に示すように、透過性基板40の掘り下げ部40a、つまり位相シフターを開口部と接するように設けた。しかし、これに代えて、例えば図26（a）の平面図及びそれと対応する図26（b）の断面図に示すように、半遮光部としてハーフトーン膜41を用いると共に、透過性基板40の掘り下げ部40aを開口部から所定の寸法だけ離して設けてもよい。言い換えると、位相シフター（周辺部）と開口部（透光部）とを離間させ、両者の間に半遮光部を設けてもよい。また、図26（b）に示すフォトマスクにおけるハーフトーン膜41のみからなる半遮光部に代えて、低透過率の単層薄膜の上に位相調整膜が堆積されてなる半遮光部を用いたフォトマスクの断面構成を図26（c）に示す。図26（c）に示すフォトマスクにおいては、半遮光部として、低透過率の透過率調整膜41Aと高透過率の位相調整膜41Bとが積層された2層構造を用いており、それによって、半遮光部と開口部との間の位相差を0度としている。ここで、透過率調整膜41Aとしては、例えばZr、Cr、Ta、Mo若しくはTi等の金属からなる薄膜（厚さ30nm以下）又は例えばTa-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金若しくはTi-Si合金等の金属合金からなる薄膜（厚さ30nm以下）を用いることができる。また、位相調整膜41Bとしては、例えばSiO₂膜等の酸化膜を用いることができる。 30 40

【0225】

ところで、図26（c）に示すフォトマスクのように、位相シフターと開口部とを離間させる微小幅の半遮光部が厚い多層膜構成を有している場合、具体的には、位相シフターと開口部との間に、下層の透過率調整膜41A上に形成された厚い位相調整膜41Bの微小な孤立領域が存在する場合、位相調整膜41Bの加工時に該孤立領域が剥離しやすくなる 50

。それに対して、位相シフターと開口部との間に30度程度までの位相差が生じてよいことを利用して、フォトマスクの断面構成を図26(d)のようにしてもよい。すなわち、位相シフターと開口部との間の微小幅の半遮光部としては、位相調整膜41Bのない薄い透過率調整膜41Aの単層構造を用いてもよい。透過率調整膜41Aの単層構造は、その厚さに応じて、開口部との間で僅少な位相差を生じる。このようにすると、位相シフターと開口部との間に微小幅の半遮光部を介在させたときにも、該微小幅の半遮光部を構成する膜の剥離を抑制しつつ、輪郭強調法による効果が得られるフォトマスク作成が可能となる。例えば、本実施形態においては、半遮光部形成領域の全体に亘って、遮光膜の単層薄膜よりなるハーフトーン膜41を用いたが、これに代えて、位相シフターと開口部との間の半遮光部としては、ハーフトーン膜41の単層構造を用い、その他の領域の半遮光部としては、ハーフトーン膜41とその上に形成された位相調整膜との積層構造を用いてもよい。

【0226】

また、第1～第4の実施形態において、フォトマスクにおける開口部（透光部）及び位相シフター（周辺部）以外の部分が全て半遮光部であることを前提としてきた。しかし、フォトマスクにおける開口部及び位相シフターのそれぞれから十分離れた部分、つまり、フォトマスクにおける、開口部及び位相シフターのそれぞれから光学的な干渉効果の影響がほとんど無視できる距離（ $= 2 \times \lambda / NA$ （ λ は露光光の波長であり、NAは露光機の縮小投影光学系の開口数である））以上離れた部分は完全遮光部であってもよい。

【0227】

【発明の効果】

本発明によると、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて、透光部と対応する微細な孤立スペースパターンを形成する場合にも得られる。従って、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a)～(g)は本発明の輪郭強調法の原理を説明する図である。

【図2】 (a)～(f)は従来の位相端を利用したイメージ強調効果における光源形状に対する依存性を説明する図である。

【図3】 (a)～(f)は本発明の輪郭強調法における位相シフターの寸法限界を説明する図である。

【図4】 (a)及び(b)は本発明の輪郭強調法における位相シフターの寸法限界を説明する図である。

【図5】 (a)～(f)は本発明の輪郭強調マスクによる孤立パターン形成における様々な光源位置からの露光光入射によって生じる光強度分布を説明する図である。

【図6】 (a)～(f)は従来のハーフトーン位相シフトマスクによる孤立パターン形成における様々な光源位置からの露光光入射によって生じる光強度分布を説明する図である。

【図7】 (a)～(f)は本発明の輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率に対するコントラスト及びDOFの依存性を説明する図である。

【図8】 (a)～(f)はコンタクトパターンと対応する開口部が設けられた輪郭強調マスクにおける、半遮光部と位相シフターとによって構成される遮光性のマスクパターンのレイアウトのバリエーションを示す図である。

【図9】 (a)は、本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示す図であり、(b)は、本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(c)は(b)におけるAA'線の断面図である。

【図10】 (a)は、本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクにおいて下層位相シフト膜及び上層位相シフト膜のそれぞれが単層膜である場合の断面図であり、(b)は、本

発明の第1の実施形態に係るフォトマスクにおいて下層位相シフト膜及び上層位相シフト膜のそれぞれが透過率調整膜と位相調整膜との積層膜である場合の断面図である。

【図11】(a)は通常の露光光源の形状を示す図であり、(b)は輪帯露光光源の形状を示す図であり、(c)は四重極露光光源の形状を示す図であり、(d)は輪帯-四重極混成型露光光源の形状を示す図である。

【図12】(a)～(d)は本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【図13】(a)～(e)は本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

10

【図14】(a)～(e)は本発明の第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

【図15】(a)～(e)は本発明の第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

【図16】(a)は、本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示す図であり、(b)は、本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(c)は(b)におけるAA'線の断面図である。

【図17】(a)～(d)は本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

20

【図18】(a)～(d)は本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクにおける断面構成のバリエーションを示す図である。

【図19】(a)は、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示す図であり、(b)は、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(c)は(b)におけるAA'線の断面図である。

【図20】(a)～(d)は本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【図21】(a)及び(b)は本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクにおいてハーフトーン膜の薄膜部分が開口部と接するように位置している場合の平面図及び断面図であり、(c)及び(d)は本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクにおいてハーフトーン膜の薄膜部分が開口部から所定の寸法だけ離れて位置している場合の平面図及び断面図である。

30

【図22】(a)は、本発明の第4の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示す図であり、(b)は、本発明の第4の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(c)は(b)におけるAA'線の断面図である。

【図23】(a)～(d)は本発明の第4の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【図24】(a)～(e)は本発明の第4の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

40

【図25】(a)～(c)は本発明の第4の実施形態に係るフォトマスクの半遮光部として、薄膜化された遮光膜を使用したことに起因する位相変化がパターン形成に及ぼす影響を説明する図である。

【図26】(a)は本発明の第4の実施形態に係るフォトマスクにおいて透過性基板の掘り下げ部分が開口部から所定の寸法だけ離れて位置している場合の平面図であり、(b)～(d)はそれぞれ同場合の断面図である。

【図27】(a)～(g)は従来のハーフトーン位相シフトマスクによるイメージ強調原理を説明する図である。

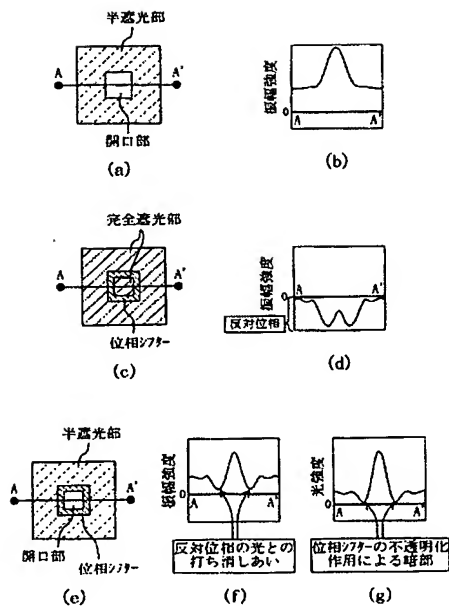
【符号の説明】

50

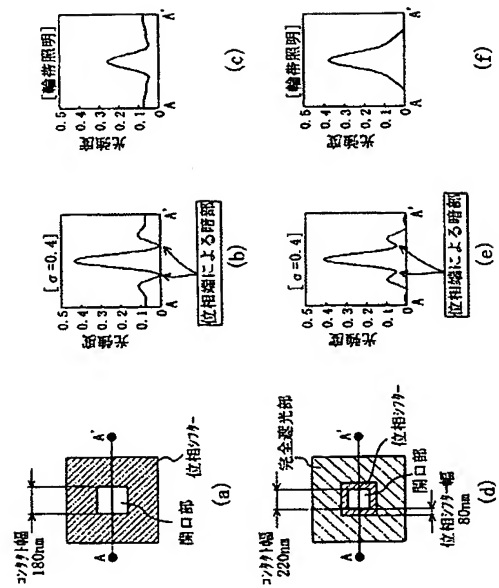
1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f	輪郭強調マスク	
2 a、2 b、2 c、2 d、2 e、2 f	透過性基板	
3 a、3 b、3 c、3 d、3 e、3 f	半遮光部	
4 a、4 b、4 c、4 d、4 e、4 f	開口部	
5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f	位相シフター	
1 0	透過性基板	
1 1	下層位相シフト膜	
1 1 A	第1の透過率調整膜	
1 1 B	第1の位相調整膜	
1 2	上層位相シフト膜	10
1 2 A	第2の透過率調整膜	
1 2 B	第2の位相調整膜	
1 3	第1のレジストパターン	
1 4	第2のレジストパターン	
2 0	透過性基板	
2 1	下層位相調整膜	
2 2	透過率調整膜	
2 3	上層位相調整膜	
3 0	透過性基板	
3 1	ハーフトーン膜	20
4 0	透過性基板	
4 0 a	掘り下げ部	
4 1	ハーフトーン膜	
4 1 A	透過率調整膜	
4 1 B	位相調整膜	
1 0 0	基板	
1 0 1	被加工膜	
1 0 2	レジスト膜	
1 0 2 a	潜像部分	
1 0 3	露光光	30
1 0 4	透過光	
1 0 5	レジストパターン	
2 0 0	基板	
2 0 1	被加工膜	
2 0 2	レジスト膜	
2 0 2 a	潜像部分	
2 0 3	露光光	
2 0 4	透過光	
2 0 5	レジストパターン	
3 0 0	基板	40
3 0 1	被加工膜	
3 0 2	レジスト膜	
3 0 2 a	潜像部分	
3 0 3	露光光	
3 0 4	透過光	
3 0 5	レジストパターン	
4 0 0	基板	
4 0 1	被加工膜	
4 0 2	レジスト膜	
4 0 2 a	潜像部分	50

4 0 3 露光光
 4 0 4 透過光
 4 0 5 レジストパターン

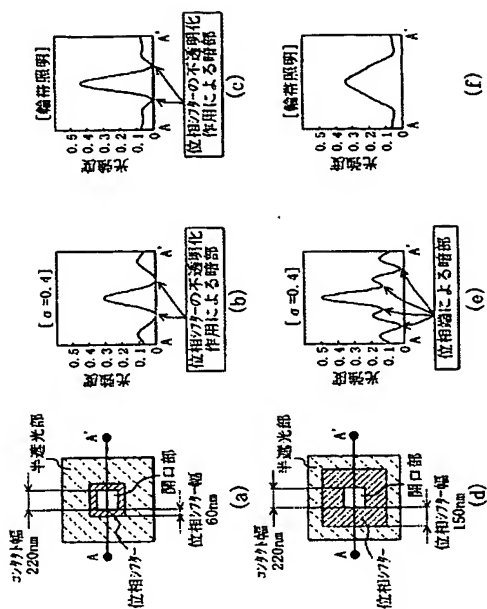
【図 1】



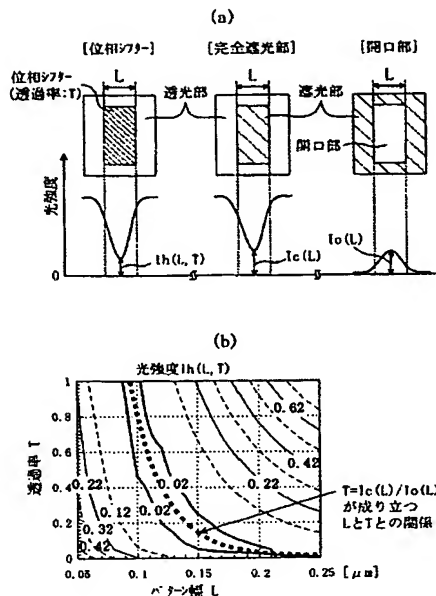
【図 2】



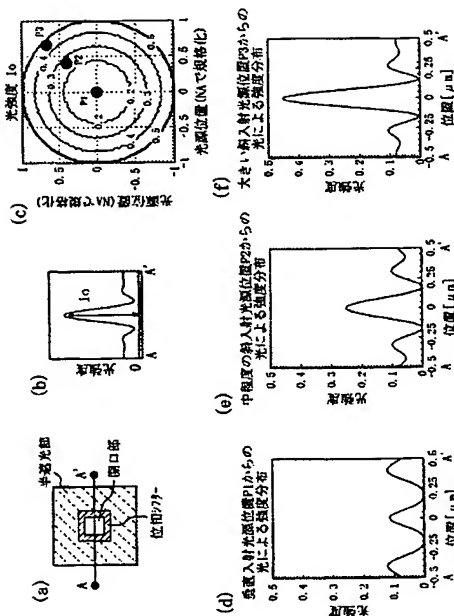
【図 3】



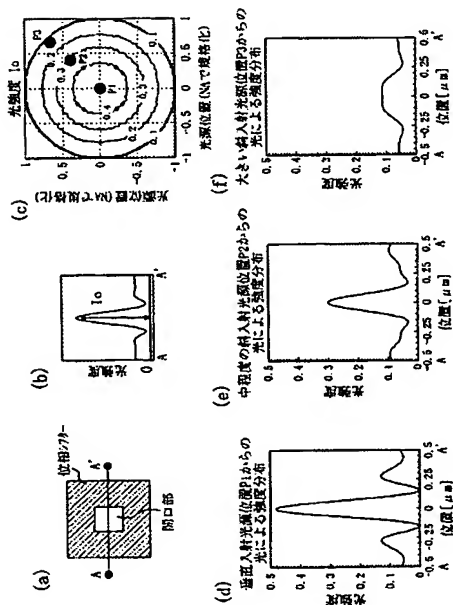
【図 4】



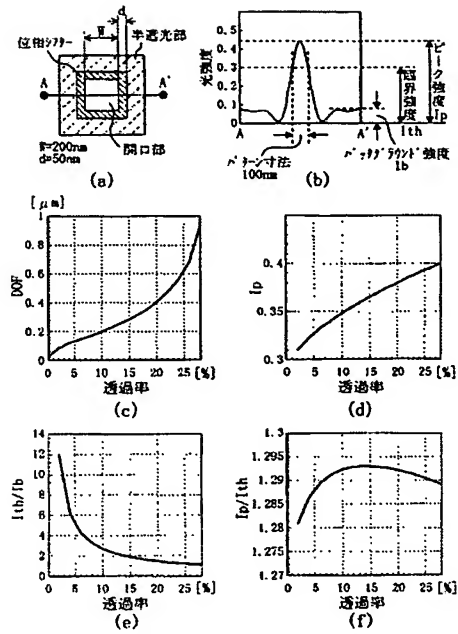
【図 5】



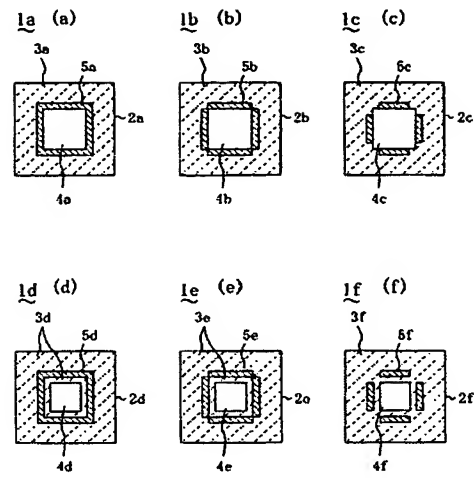
【図 6】



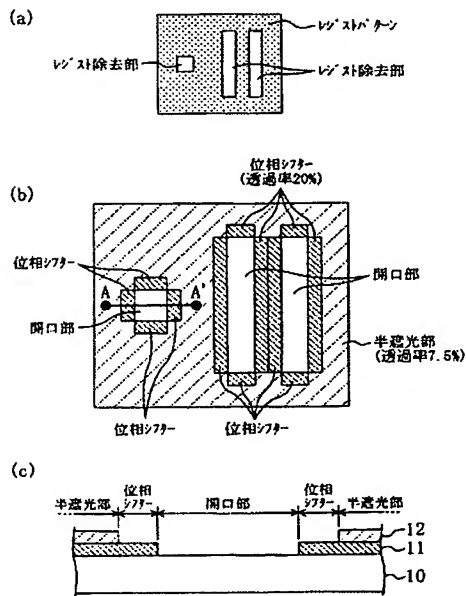
【図 7】



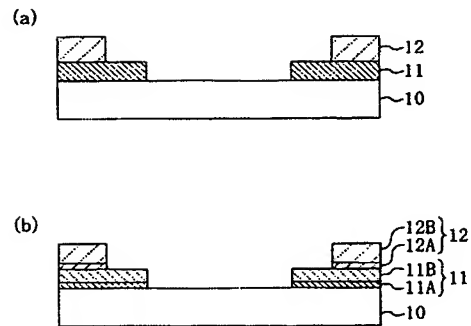
【図 8】



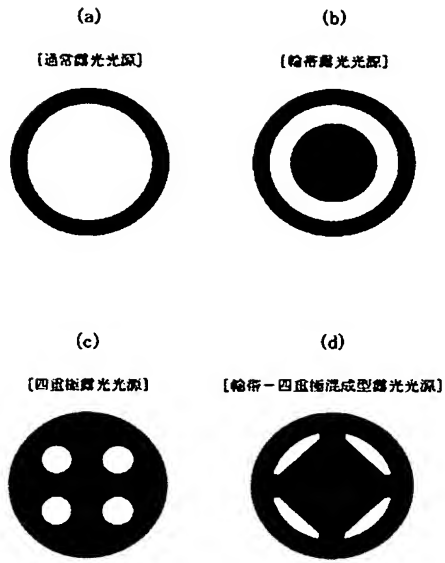
【図 9】



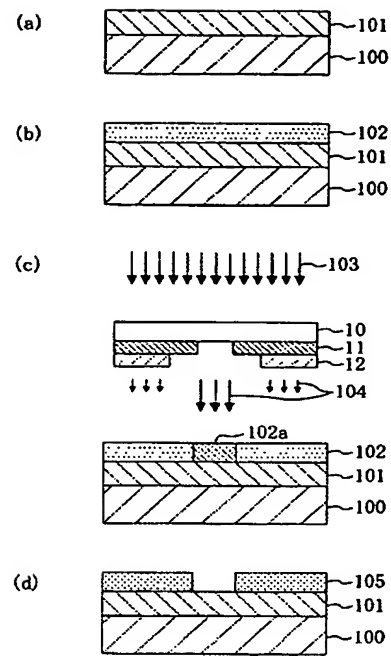
【図 10】



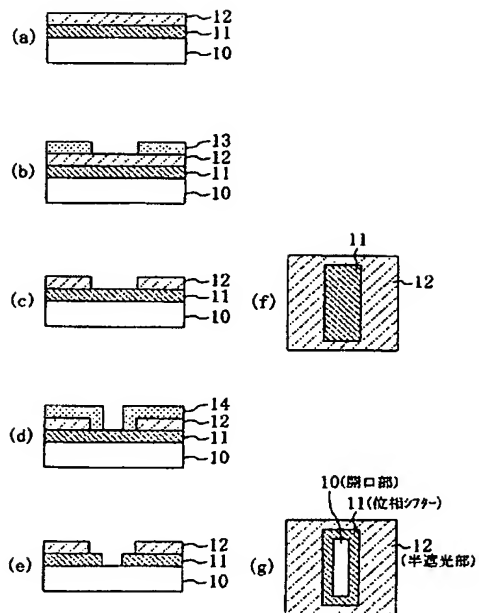
【図 1 1】



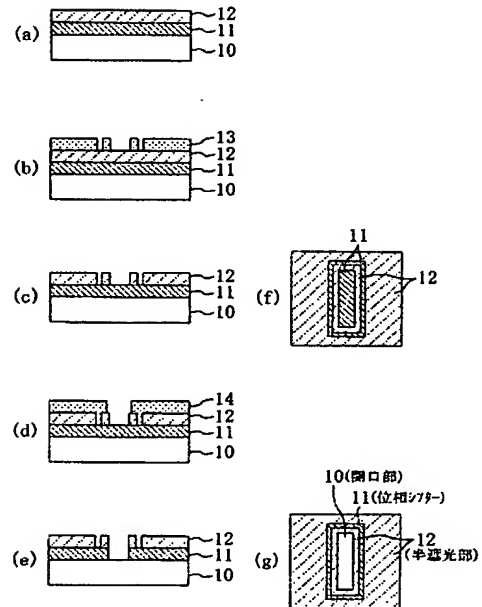
【図 1 2】



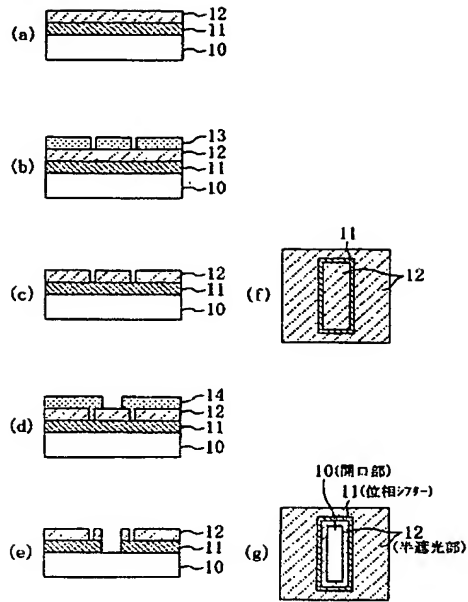
【図 1 3】



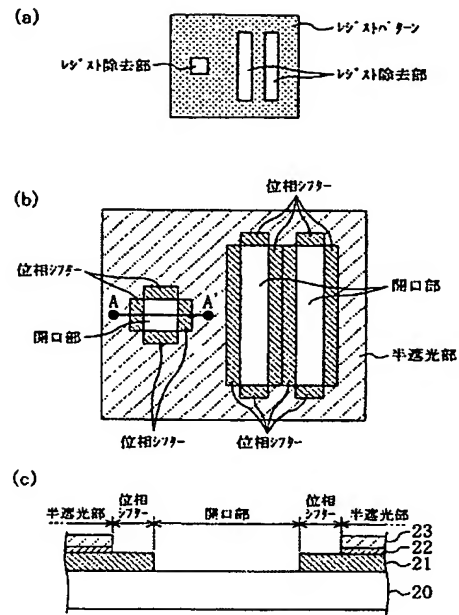
【図 1 4】



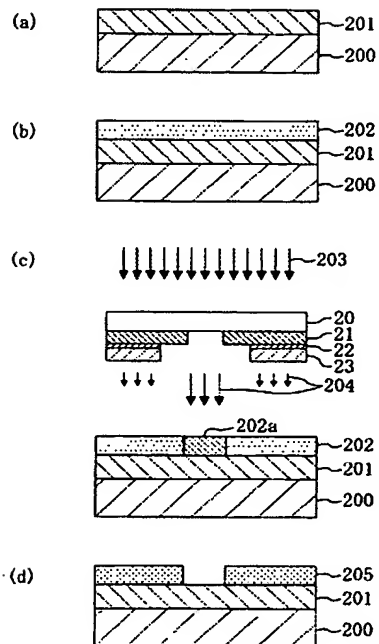
【図 15】



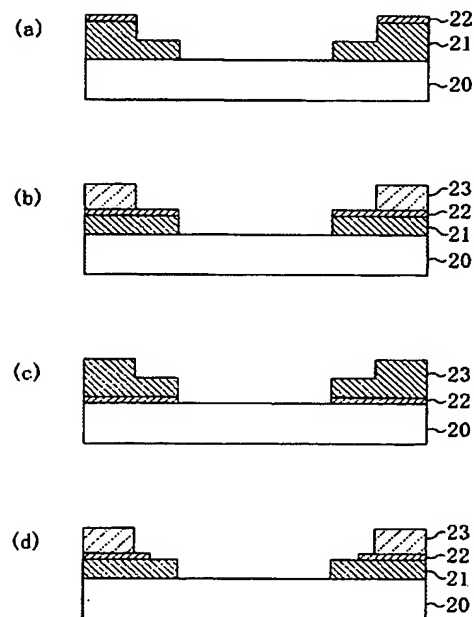
【図 16】



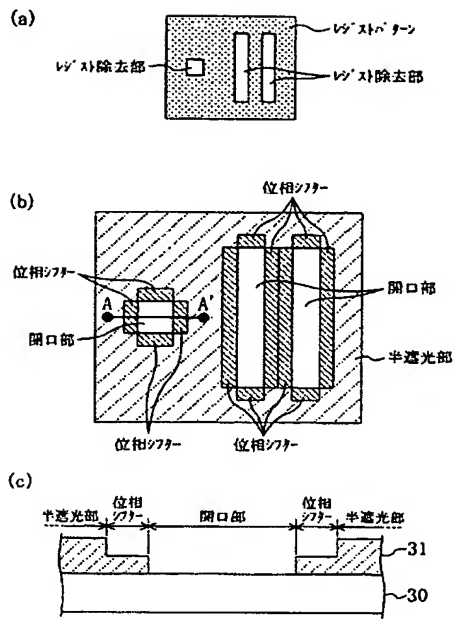
【図 17】



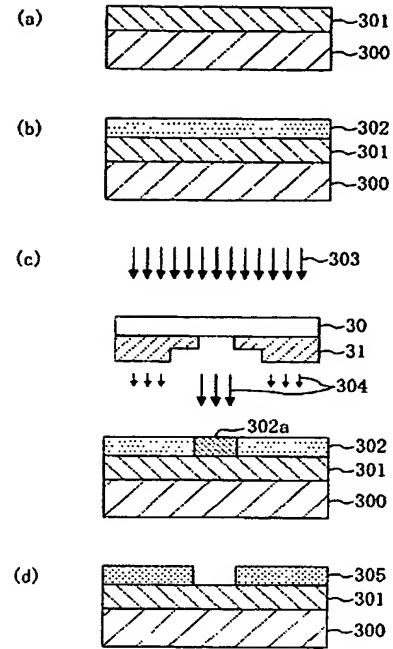
【図 18】



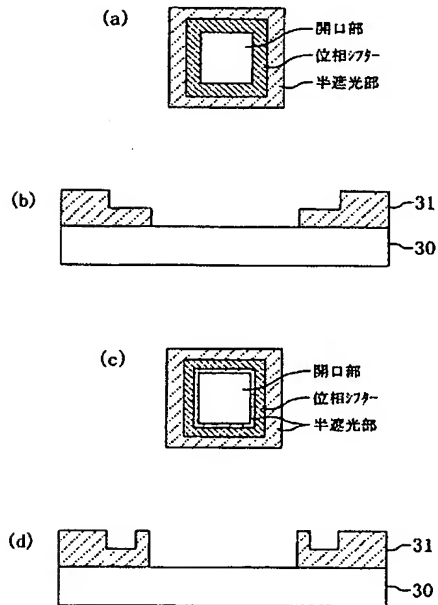
【図 19】



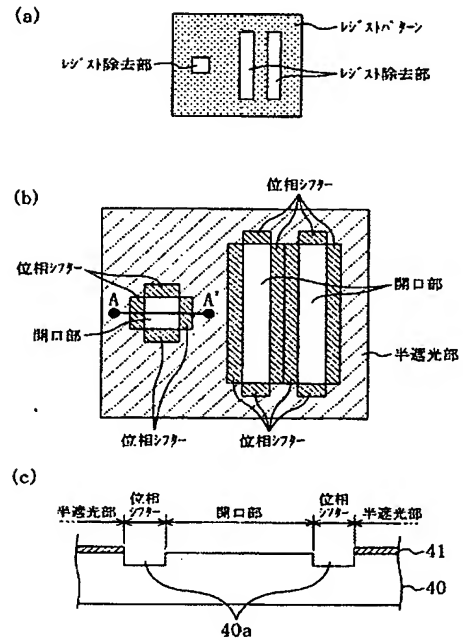
【図 20】



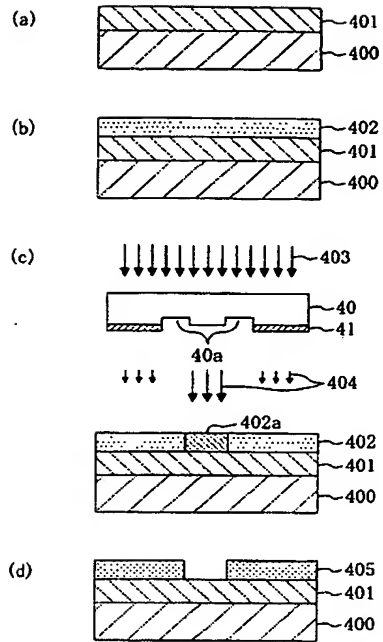
【図 21】



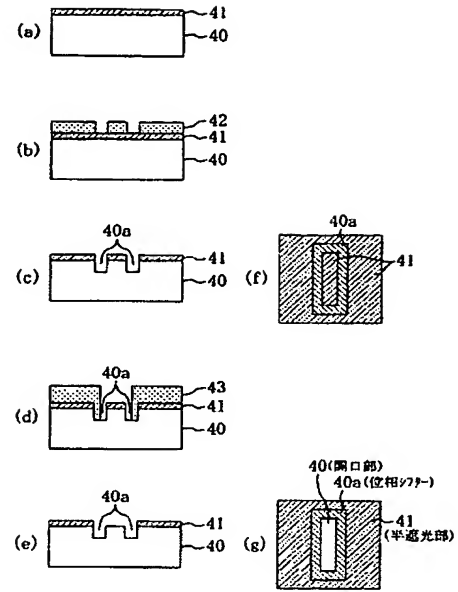
【図 22】



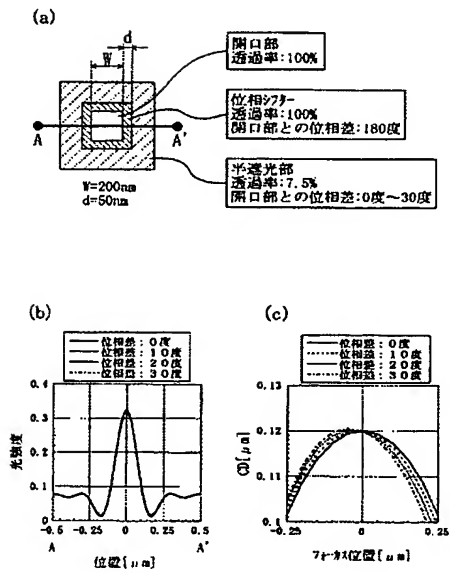
【図 2 3】



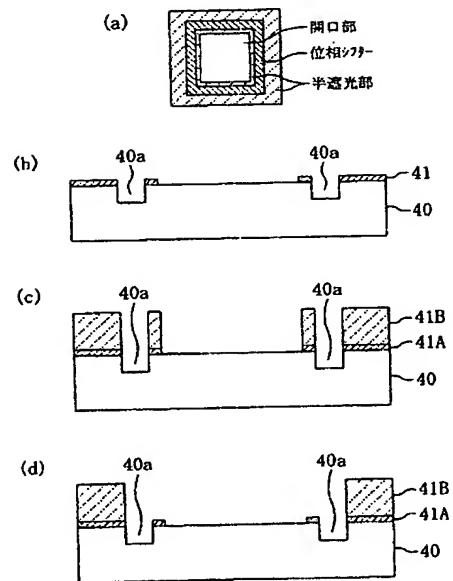
【図 2 4】



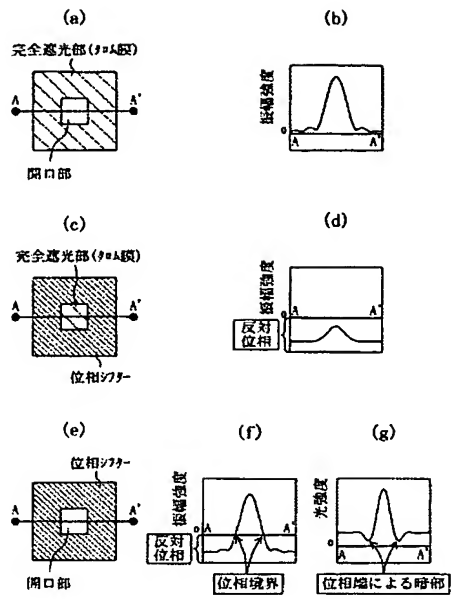
【図 2 5】



【図 2 6】



【図 27】



フロントページの続き

(74)代理人 100115691

弁理士 藤田 篤史

(74)代理人 100117581

弁理士 二宮 克也

(74)代理人 100117710

弁理士 原田 智雄

(74)代理人 100121500

弁理士 後藤 高志

(74)代理人 100121728

弁理士 井関 勝守

(72)発明者 三坂 章夫

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

Fターム(参考) 2H095 B802 B803 B836 BC24 BC28

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.